



**Universidade Nova de Lisboa**

**Escola Nacional de Saúde Pública**

## **Tecnologia como ferramenta de gestão da qualidade do ar interior em unidades de saúde**

**Caso de estudo numa unidade de diálise da Grande Lisboa**

**X Curso de Mestrado em Gestão da Saúde**

**Ana Cristina Duarte de Resende**

**Lisboa, 2016**





**Universidade Nova de Lisboa**

**Escola Nacional de Saúde Pública**

## **Tecnologia como ferramenta de gestão da qualidade do ar interior em unidades de saúde**

**Caso de estudo numa unidade de diálise da Grande Lisboa**

Trabalho de Dissertação apresentado para cumprimento dos requisitos necessários à  
obtenção do Grau de Mestre em Gestão da Saúde realizado sob a orientação  
científica do Professor Doutor António de Sousa Uva e co-orientação científica do  
Professor Doutor João Valente Cordeiro.

**Lisboa, 2016**



A Escola Nacional de Saúde Pública não se responsabiliza pelas opiniões expressas nesta publicação, as quais são da exclusiva responsabilidade do seu autor.



## **AGRADECIMENTOS**

Difícilmente se faria um caminho como este, sem o incentivo e apoio de quem me acompanhou. Assim, gostaria de agradecer a todos os que, directa ou indirectamente, contribuíram para a concretização desta dissertação.

Aos meus pais, as pessoas mais importantes da minha vida, por estarem sempre presentes, por acreditarem em mim e pela herança de valores. Sem eles nada faria sentido e tudo seria muito mais difícil.

Aos meus irmãos, pelo carinho, apoio, preocupação e partilha do valor da palavra união.

Ao Pedro, pelo apoio incondicional, motivação, cumplicidade, paciência e carinho.

Ao Professor Doutor António de Sousa Uva, pela excepcional e imprescindível orientação, ensinamentos, espírito crítico, sugestões construtivas e generosidade.

Ao Professor Doutor João Valente Cordeiro, pelo apoio e prontidão com que aceitou acompanhar-me nesta área de investigação.

Ao Professor Doutor Pedro Aguiar, pelo importante apoio na revisão estatística dos dados.

Ao Mestre Rui Lucena, Director do Departamento de Gestão de Fluidos da Fresenius Medical Care Portugal, S.A., pelo apoio e confiança. Agradeço os desafios profissionais, bem como a oportunidade e liberdade concedidas e necessárias à conclusão desta etapa académica.

À Mestre Paula Albuquerque, Professora Coordenadora da área científica de Saúde Ambiental na ESTeSL, pela influência na escolha do tema. Desejo sucesso na conclusão, a curto prazo, da sua caminhada académica.

Aos técnicos do Laboratório de Análises do Instituto Superior Técnico que efectuaram as medições locais, colheitas do ar interior e transporte de amostras, pelo profissionalismo e boa disposição.

Ao meu colega de Mestrado, Óscar Fernandes, pela amizade que construímos, pela partilha de bons momentos e pelas palavras de incentivo.

À Dr.<sup>a</sup> Isabel Andrade pela preciosa ajuda na apresentação da bibliografia.

À “nossa” Manuela, pela simpatia, disponibilidade e dedicação aos alunos.

*Este trabalho também é vosso... Muito obrigada!*





## RESUMO

A qualidade do ar interior (QAI) em unidades de saúde tem sido acompanhada por avanços técnico-científicos, cujo resultado se traduz na oferta de soluções tecnológicas destinadas à prevenção e controlo da poluição do ar interior, permitindo minimizar potenciais efeitos adversos na saúde, conforto e produtividade dos seus ocupantes.

O presente estudo foi desenvolvido numa unidade de diálise da Grande Lisboa, tendo como objectivo geral a avaliação de um novo sistema de gestão da QAI, baseado na instalação de purificadores do ar interior (biorreactores). A nível metodológico e operacional foram realizadas medições (pré e pós-instalação dos biorreactores) aos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos do ar interior das salas de diálise, no sentido de caracterizar a QAI, antes e após instalação dos biorreactores.

Os resultados obtidos mostraram que a presença de determinados poluentes químicos, nomeadamente, compostos orgânicos voláteis totais (COVs Totais) e formaldeído ( $\text{CH}_2\text{O}$ ), associada ao uso frequente de desinfectantes devido à elevada prática médica, é um dos principais responsáveis pela degradação da QAI na unidade de diálise. Constatou-se que, após instalação dos biorreactores, ocorreu, por um lado uma diminuição da concentração média de COVs Totais,  $\text{CH}_2\text{O}$ , bactérias e fungos, por outro, um aumento da humidade relativa (HR) e partículas em suspensão ( $\text{PM}_{10}$ ) no ar interior.

A QAI origina reflexos significativos no bem-estar, saúde, comportamento e produtividade dos ocupantes, tornando-se um desafio para os gestores da saúde. Face aos resultados deste estudo, o novo sistema de gestão da QAI poderá ser considerado como potencial solução para a melhoria da QAI.

**Palavras-chave:** poluição atmosférica; poluentes; saúde; qualidade do ar interior; ambiente hospitalar; tecnologia de purificação do ar interior.



## ABSTRACT

The indoor air quality (IAQ) in health facilities has been followed by technical and scientific advances, the outcome of which is reflected in the provision of technological solutions for the prevention and control of indoor air pollution, allowing to minimize potential adverse effects on health, comfort and productivity of its occupants.

This study was conducted in a dialysis unit located in Lisbon, with the overall objective of the evaluation of a new IAQ management system that consists in an indoor air purification technology (bioreactors). The applied methodology involved several measurements (before and after installation of the bioreactors), including physical, chemical and microbiological parameters. These parameters were set up in order to characterize the IAQ of the dialysis rooms, before and after the installation of the bioreactors.

The results showed that the presence of certain chemical pollutants, including volatile organic compounds (VOCs) and formaldehyde (CH<sub>2</sub>O) associated with frequent use of disinfectants due to high medical practice, is the major contributor to the degradation of IAQ in the dialysis unit. As major outcomes one can state that after the installation of the bioreactors a decrease of the average concentration of total VOC, CH<sub>2</sub>O, bacteria and fungi were confirmed. On the other hand an increase of relative humidity (RH) and suspended particles (PM<sub>10</sub>) were identified after the installation of the bioreactors.

The IAQ has a significant impact on the welfare, health, behavior and productivity of occupants, making it a challenge for health managers. Given the results of this study, the new IAQ management system can be considered as a potential solution to improve IAQ.

**Keywords:** air pollution; pollutants; health; indoor air quality; hospital environment; indoor air purification technology.



## ÍNDICE GERAL

|  |      |
|--|------|
| AGRADECIMENTOS .....   | iii  |
| RESUMO .....   | v    |
| ABSTRACT.....  | vii  |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....  | xi   |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS.....  | xiii |
| ÍNDICE DE TABELAS .....  | xv   |
| LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS .....                                    | xvii |
| PREÂMBULO.....   | xix  |
| PARTE I - ENQUADRAMENTO TEÓRICO .....                                      | 1    |
| CAPÍTULO I - CONTEXTO DA DISSERTAÇÃO.....                                  | 3    |
| 1.1 Introdução .....   | 3    |
| 1.2 Objectivos .....   | 5    |
| 1.3 Estrutura da dissertação .....   | 5    |
| CAPÍTULO II - REVISÃO DA LITERATURA.....                                   | 7    |
| 2.1. Ar, poluição atmosférica e saúde.....                                 | 7    |
| 2.2. Qualidade do ar interior e saúde.....                                 | 8    |
| 2.3. Parâmetros ambientais com influência na qualidade do ar interior..... | 10   |
| 2.3.1. Temperatura e humidade relativa.....                                | 10   |
| 2.3.2. Compostos orgânicos voláteis.....                                   | 11   |
| 2.3.3. Formaldeído.....  | 11   |
| 2.3.4. Monóxido de carbono .....   | 12   |
| 2.3.5. Dióxido de carbono.....   | 12   |
| 2.3.6. Ozono .....   | 13   |
| 2.3.7. Partículas em suspensão.....  | 13   |
| 2.3.8. Bactérias.....  | 14   |
| 2.3.9. Fungos.....   | 14   |
| 2.4. Gestão da qualidade do ar interior em unidades de saúde .....         | 14   |
| 2.5. Tecnologias de gestão da qualidade do ar interior .....               | 16   |
| 2.5.1. Sistema de oxidação biológica .....                                 | 17   |
| 2.6. A gestão em saúde face à inovação tecnológica.....                    | 19   |
| 2.7. Enquadramento legislativo.....  | 20   |
| PARTE II - CASO DE ESTUDO .....  | 23   |
| CAPÍTULO III - METODOLOGIA .....   | 25   |
| 3.1. Caso de estudo .....  | 25   |

|   |    |
|---|----|
| 3.2. Caracterização do local de estudo .....                | 27 |
| 3.2.1. Caracterização das áreas-piloto .....                | 28 |
| 3.3. Distribuição dos biorreactores.....                    | 28 |
| 3.3.1. Manutenção dos biorreactores .....                   | 29 |
| 3.4. Amostragem e metodologia .....                         | 30 |
| 3.4.1. Organização da amostragem.....                       | 30 |
| 3.4.2. Definição dos pontos de colheita.....                | 31 |
| 3.4.3. Selecção de parâmetros .....                         | 32 |
| 3.4.4. Metodologia de amostragem.....                       | 33 |
| 3.5. Análise de dados .....                                 | 35 |
| 3.6. Aspectos éticos.....                                   | 35 |
| 3.7. Cronograma.....  | 35 |
| CAPÍTULO IV - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS ..... | 37 |
| 4.1. Parâmetros físicos .....                               | 38 |
| 4.2. Parâmetros químicos .....                              | 41 |
| 4.3. Parâmetros microbiológicos .....                       | 50 |
| 4.4. Síntese dos resultados.....                            | 53 |
| 4.5. Limitações do presente estudo.....                     | 54 |
| CAPÍTULO V - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....               | 55 |
| BIBLIOGRAFIA.....   | 57 |
| ANEXOS .....  | 65 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Cadeia de eventos da poluição atmosférica, das fontes aos efeitos..... | 7  |
| Figura 2: Biorreactor. ....  | 18 |
| Figura 3: Interior de um biorreactor. ....                                       | 18 |
| Figura 4: Esquema simplificado de funcionamento de um biorreactor.....           | 19 |
| Figura 5: Representação esquemática de uma unidade de diálise.....               | 25 |





## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1: Evolução dos valores médios de temperatura, °C. ....  | 38 |
| Gráfico 2: Distribuição dos valores de temperatura (°C) nos momentos de amostragem $t_0$ e $t_5$ . ....                                      | 39 |
| Gráfico 3: Evolução dos valores médios de humidade relativa, %.....  | 40 |
| Gráfico 4: Distribuição dos valores de humidade relativa (%) nos momentos de amostragem $t_0$ e $t_5$ . ....                                 | 41 |
| Gráfico 5: Evolução da concentração média de compostos orgânicos voláteis totais, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . ....                            | 42 |
| Gráfico 6: Distribuição dos valores de COVs Totais ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nos momentos de amostragem $t_0$ e $t_5$ . ....              | 43 |
| Gráfico 7: Evolução da concentração média de formaldeído, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . ....  | 44 |
| Gráfico 8: Distribuição dos valores de formaldeído ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nos momentos de amostragem $t_0$ e $t_5$ . ....              | 45 |
| Gráfico 9: Evolução da concentração média de dióxido de carbono, $\text{mg}/\text{m}^3$ . ....   | 46 |
| Gráfico 10: Distribuição dos valores de dióxido de carbono ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) nos momentos de amostragem $t_0$ e $t_5$ . ....        | 47 |
| Gráfico 11: Evolução da concentração média de partículas em suspensão, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . ....                                       | 48 |
| Gráfico 12: Distribuição dos valores de partículas em suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nos momentos de amostragem $t_0$ e $t_5$ . .... | 49 |
| Gráfico 13: Evolução da concentração média de bactérias, UFC/ $\text{m}^3$ . ....  | 50 |
| Gráfico 14: Distribuição do número de bactérias (UFC/ $\text{m}^3$ ) nos momentos de amostragem $t_0$ e $t_5$ . ....                         | 51 |
| Gráfico 15: Evolução da concentração média de fungos, UFC/ $\text{m}^3$ . ....   | 51 |
| Gráfico 16: Distribuição do número de fungos (UFC/ $\text{m}^3$ ) nos momentos de amostragem $t_0$ e $t_5$ . ....                            | 52 |



## ÍNDICE DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1: Localização das unidades funcionais da clínica de diálise.....                     | 27 |
| Tabela 2: Localização, denominação e codificação das áreas-piloto.....                       | 28 |
| Tabela 3: Modelos e características dos biorreactores instalados. ....                       | 28 |
| Tabela 4: Distribuição, modelo, quantidade e codificação dos biorreactores.....              | 29 |
| Tabela 5: Cronograma de manutenção dos biorreactores. ....                                   | 29 |
| Tabela 6: Cronograma de amostragem/actividades.....  | 30 |
| Tabela 7: Cálculo do número mínimo de pontos de colheita em cada área-piloto.....            | 32 |
| Tabela 8: Localização e codificação dos pontos de colheita.....                              | 32 |
| Tabela 9: Métodos e equipamentos utilizados na determinação dos diversos<br>parâmetros. .... | 33 |
| Tabela 10: Condições de incubação dos parâmetros microbiológicos.....                        | 35 |



## LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

|                   |   |
|-------------------|---|
| APA               | Associação Portuguesa do Ambiente                         |
| AVAC              | Aquecimento, ventilação e ar condicionado                 |
| CH <sub>2</sub> O | Formaldeído   |
| CO                | Monóxido de carbono                                       |
| CO <sub>2</sub>   | Dióxido de carbono  |
| COVs              | Compostos orgânicos voláteis                              |
| COVs Totais       | Compostos orgânicos voláteis totais                       |
| DAE               | Diâmetro aerodinâmico equivalente                         |
| DGS               | Direcção-Geral da Saúde                                   |
| DRA               | Sala de diálise A   |
| DRB               | Sala de diálise B   |
| DRC               | Sala de diálise C   |
| DRE               | Doenças relacionadas com edifícios                        |
| DRHBV             | Sala de diálise HBV                                       |
| HBV               | Vírus da Hepatite B                                       |
| HBVDR             | Sala de hemodiálise HBV                                   |
| HEPA              | High efficiency particulate air                           |
| HR                | Humidade relativa   |
| IACS              | Infecções associadas aos cuidados de saúde                |
| IARC              | International Agency for Research on Cancer               |
| IGAMAOT           | Inspecção Geral do Ambiente e Ordenamento do Território   |
| LAIST             | Laboratório de Análises do Instituto Superior Técnico     |
| m                 | Metro   |
| m <sup>2</sup>    | Metro quadrado  |
| m <sup>3</sup>    | Metro cúbico  |
| mg                | Miligramma  |
| mg/m <sup>3</sup> | Miligramma por metro cúbico                               |
| MEA               | <i>Malt Extract Agar</i>                                  |
| O <sub>3</sub>    | Ozono   |
| OCDE              | Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico |
| OMS               | Organização Mundial da Saúde                              |
| PM                | Partículas em suspensão                                   |
| PM <sub>0,1</sub> | Partículas em suspensão com DAE inferior a 0,1 µm         |
| PM <sub>2,5</sub> | Partículas em suspensão com DAE inferior a 2,5 µm         |

|                    |   |
|--------------------|---|
| PM <sub>10</sub>   | Partículas em suspensão com DAE entre 2,5 e 10 µm |
| QAI                | Qualidade do ar interior                          |
| SED                | Síndrome do edifício doente                       |
| SPSS               | Statistical Package for the Social Sciences       |
| T                  | Temperatura                                       |
| TSA                | <i>Tryptic Soy Agar</i>                           |
| UFC                | Unidades formadoras de colónias                   |
| UFC/m <sup>3</sup> | Unidades formadoras de colónias por metro cúbico  |
| UVGI               | Ultraviolet germicidal irradiation                |
| °C                 | Graus Celsius                                     |
| µg                 | Micrograma  |
| µg/m <sup>3</sup>  | Micrograma por metro cúbico                       |
| µm                 | Micrómetro  |

## **PREÂMBULO**

O presente trabalho de dissertação foi realizado para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Gestão da Saúde.

Esta dissertação teve como suporte um projecto-piloto desenvolvido em contexto profissional pela investigadora, num grupo empresarial privado de serviços de saúde, especializado em terapias de substituição renal.

A escolha deste tema teve como propósito aliar a área de formação-base da investigadora, Biotecnologia, à experiência profissional desenvolvida nos últimos anos na área da saúde.

A gestão da Qualidade do Ar Interior (QAI) é percepcionada por esse grupo empresarial privado, detentor de diversas clínicas quer a nível nacional quer internacional, como um dos requisitos essenciais para a garantia da qualidade dos serviços prestados nas suas unidades de diálise. Por outro lado, é considerada uma ferramenta fundamental na melhoria contínua das condições laborais, responsável por ganhos no bem-estar, na saúde, no comportamento, na produtividade e na redução do índice de absentismo laboral resultante da exposição a poluentes do ar interior.

Perante o elevado número diário de ocupantes das unidades de diálise, as características estruturais das mesmas, a tipologia das actividades desenvolvidas e as diversas soluções tecnológicas existentes no mercado para purificação do ar interior, foi identificada a necessidade de testar um novo sistema de gestão da QAI.

Para tal foi seleccionada uma unidade de diálise da Grande Lisboa e um sistema tecnológico de purificação do ar interior. Este sistema consistiu na instalação de equipamentos de oxidação biológica, denominados biorreactores, na unidade de diálise seleccionada para integrar o projecto-piloto.

A parte prática deste estudo decorreu entre 2013 e 2014, permitindo, entre outros, caracterizar a QAI da unidade de diálise, antes e após a instalação dos biorreactores.

Todas as medições locais e recolhas do ar interior, necessárias à caracterização da QAI, foram realizadas por técnicos de um laboratório independente, devidamente certificado e homologado, o Laboratório de Análises do Instituto Superior Técnico (LAIST).

A investigadora esteve envolvida em todos os processos necessários ao desenvolvimento deste projecto-piloto, incluindo planeamento, implementação e coordenação das actividades inerentes à sua concretização.

Este estudo enquadra-se no âmbito do Mestrado em Gestão da Saúde na medida em que, as instituições de saúde apostam cada vez mais numa gestão baseada em estratégias de intervenção e prevenção. Desta forma, os gestores em saúde, face ao

contínuo desenvolvimento tecnológico, são confrontados com diversos dilemas aquando da tomada de decisão, quanto à adopção, ou não, de uma determinada tecnologia de saúde, a qual poderá gerar benefícios à comunidade.

A presente dissertação surge na sequência da autorização emitida pelo grupo empresarial privado, no corrente ano, para publicação dos resultados obtidos no projecto-piloto.

É importante salientar que esta dissertação foi realizada com um fim estritamente académico, não tendo sido contratualizada ou estabelecida qualquer tipo de contrapartida, quer para a investigadora, quer para as instituições envolvidas neste estudo.



---

**PARTE I**  
**ENQUADRAMENTO TEÓRICO**

---



## **CAPÍTULO I**

### **CONTEXTO DA DISSERTAÇÃO**

#### **1.1 Introdução**

No mundo contemporâneo temos assistido a uma crescente preocupação com a saúde, a qual está fortemente relacionada, quer com a evolução dos sistemas de saúde, quer com uma maior consciencialização por parte dos cidadãos dos seus direitos<sup>[1]</sup>.

A comunidade científica despertou há já várias décadas para o tema “efeitos da poluição atmosférica na saúde humana”. De facto, esta matéria tem sido objecto de estudo desde a revolução industrial<sup>[2]</sup>.

Apesar dos progressos entretanto conseguidos nesta área, a qualidade do ar mantém-se como um aspecto crítico nas exigências e reivindicações dos cidadãos, dadas as repercussões que determinados poluentes, independentemente da sua natureza (biológica, química ou física), podem causar na saúde humana e nos ecossistemas<sup>[3,4,5]</sup>.

O ar é um elemento fundamental para a sobrevivência do ser humano. Diariamente, entram nos pulmões cerca de 10.000 litros de ar, pelo que a qualidade do ar que respiramos, proveniente de ambientes exteriores e interiores, é um requisito determinante para a nossa saúde<sup>[6]</sup>.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), a poluição do ar representa uma ameaça ao bem-estar e saúde da população. Todos os anos é registado um número elevado de mortes, cuja causa resulta da exposição à poluição do ar; 3,7 milhões por exposição a poluentes do ar exterior e 4,3 milhões como resultado da exposição a poluentes do ar interior<sup>[7]</sup>.

Por outro lado, a poluição do ar, interior e exterior, também se destaca pelos consideráveis impactos económicos a nível mundial, os quais são expressos pela ocorrência de mortes prematuras, pelos crescentes custos com cuidados de saúde e pela redução da produtividade através de dias de trabalho perdidos<sup>[8]</sup>.

A poluição atmosférica, pelos efeitos adversos que causa na saúde humana, constitui uma das maiores preocupações de decisores políticos, gestores, comunidade médica, científica e população em geral, sendo considerada, fundamentalmente, um problema de saúde pública<sup>[9]</sup>.

No entanto, decorrente das mudanças sociais verificadas ao longo dos últimos anos, particularmente em meios urbanos, cerca de 80 a 90% do nosso tempo é passado em espaços fechados (e.g. habitação, local de trabalho, meios de transporte,

actividades culturais e sociais), justificando-se assim a relevância crescente que a Qualidade do Ar Interior (QAI) tem adquirido nas sociedades contemporâneas<sup>[9-11]</sup>.

A QAI assume-se como factor crítico em unidades clínicas e hospitalares, quer pela multiplicidade de áreas, serviços e actividades, quer pelo elevado número e diversidade de ocupantes, ou ainda pela presença de diversos poluentes, susceptíveis de causar efeitos adversos na saúde dos ocupantes<sup>[11,12]</sup>.

A problemática da QAI e a sua gestão em unidades de saúde tem adquirido crescente expressão científica, técnica e política e deve ser encarada como uma realidade que carece de medidas de controlo e prevenção por forma a otimizar resultados clínicos, condições laborais e custos<sup>[13-15]</sup>.

O mercado actual oferece um conjunto variado de soluções tecnológicas emergentes focadas na redução de poluentes do ar interior em unidades de saúde. Estas tecnologias têm-se mostrado eficazes a nível experimental, anunciando resultados positivos, a nível hospitalar, tanto na melhoria da QAI como na protecção dos ocupantes<sup>[12,13,16]</sup>.

Face à evolução tecnológica dos últimos anos, as organizações de saúde têm apostado na transformação dos seus modelos de gestão, tornando-os mais eficientes e adequados às reais necessidades dos cidadãos<sup>[17]</sup>.

Neste âmbito desenvolveu-se um caso de estudo numa unidade de diálise da Grande Lisboa, pertencente a um grupo empresarial privado, especializado em terapias de substituição renal.

Este estudo foi realizado por forma a aferir a relação existente entre tecnologia e melhoria da QAI, testando um novo sistema de gestão da QAI, com recurso a um sistema de purificação do ar, baseado na instalação de biorreactores.

Para avaliar este sistema de gestão da QAI, a nível metodológico e operacional, realizaram-se medições e amostragens do ar interior, contemplando os seguintes parâmetros: temperatura (T), humidade relativa (HR), compostos orgânicos voláteis totais (COVs Totais), formaldeído (CH<sub>2</sub>O), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), partículas em suspensão (PM), bactérias totais a 36°C e fungos filamentosos e leveduriformes.

Tanto o processo de amostragem como a componente laboratorial foram assegurados por técnicos de um laboratório independente, devidamente homologado e certificado, o Laboratório de Análises do Instituto Superior Técnico (LAIST).

A QAI origina reflexos significativos no bem-estar, na saúde, no comportamento e na produtividade dos ocupantes, constituindo um desafio para os gestores da saúde.

Torna-se necessário garantir uma saudável QAI através do desenvolvimento e implementação de estratégias de gestão que levem à minoração de riscos para a

saúde humana e à redução do índice de absentismo laboral, resultantes da exposição a poluentes do ar interior e, concomitantemente, à redução das despesas em saúde.

Este trabalho de investigação pretende ser um contributo para o aumento do conhecimento técnico-científico no âmbito da gestão da QAI em unidades de saúde, nomeadamente, no contributo que o recurso a sistemas tecnológicos de purificação do ar interior poderá apresentar a nível da QAI.

Decorrente da aplicação desta nova tecnologia é expectável que ocorra uma diminuição da concentração dos poluentes existentes no ar interior da unidade de diálise seleccionada para este estudo.

## **1.2 Objectivos**

O presente trabalho tem como objectivo geral avaliar o papel do novo sistema de gestão da QAI implementado na unidade de diálise, através da caracterização do ar interior, antes e após instalação dos biorreactores.

Tendo em consideração o objectivo geral e o enfoque deste trabalho de investigação, foram delineados os seguintes objectivos específicos:

- Conhecer os procedimentos actuais de monitorização da QAI em unidades clínicas e hospitalares;
- Caracterizar alguns parâmetros de natureza física da QAI da unidade de diálise, antes e após instalação dos biorreactores, designadamente temperatura e humidade relativa;
- Caracterizar alguns parâmetros de natureza química da QAI da unidade de diálise, antes e após instalação dos biorreactores, nomeadamente, compostos orgânicos voláteis totais, formaldeído, monóxido de carbono, dióxido de carbono, ozono e partículas em suspensão;
- Caracterizar alguns parâmetros de natureza microbiológica da QAI da unidade de diálise, antes e após instalação dos biorreactores, particularmente, bactérias totais a 36°C e fungos filamentosos e leveduriformes.

## **1.3 Estrutura da dissertação**

Esta dissertação é apresentada em duas partes distintas e encontra-se organizada em cinco capítulos.

A primeira parte “Enquadramento Teórico” é constituída por dois capítulos. No primeiro capítulo “Contexto da Dissertação” é realizado um enquadramento ao trabalho desenvolvido e apresentam-se os objectivos e a estrutura da dissertação. No

segundo capítulo “Revisão da Literatura” são abordados os conteúdos mais significativos sobre a temática em questão, nomeadamente: ar, poluição atmosférica e saúde, QAI e saúde, parâmetros ambientais que afectam a QAI, gestão da QAI em unidades de saúde, tecnologias de gestão da QAI, gestão em saúde face à inovação tecnológica e enquadramento legislativo.

A segunda parte “Caso de Estudo” contempla três capítulos. No terceiro capítulo “Metodologia” apresenta-se o caso de estudo, são enunciadas as tarefas realizadas, os métodos, os procedimentos e equipamentos utilizados e necessários tanto à caracterização da QAI da unidade de diálise, antes e após instalação dos biorreactores, como à avaliação do papel desta tecnologia na QAI. No quarto capítulo “Apresentação e Discussão dos Resultados” é realizada a apresentação dos resultados obtidos, a sua discussão e referência às limitações deste estudo. Por último, no quinto capítulo “Conclusões e Recomendações” apresentam-se as principais conclusões, onde é efectuado um balanço final do trabalho realizado, enunciando-se algumas recomendações e perspectivas futuras.

## CAPÍTULO II

### REVISÃO DA LITERATURA

#### 2.1. Ar, poluição atmosférica e saúde

Um dos elementos essenciais à vida é o ar, o qual é composto por uma mistura de gases e de partículas sólidas presentes na atmosfera<sup>[9,18]</sup>.

A poluição atmosférica constitui uma das grandes preocupações da sociedade moderna, devido aos efeitos que poderá causar a longo prazo, sendo mesmo considerada uma das principais causas de mortalidade e morbilidade em todo o mundo, responsável por doenças respiratórias, cardiovasculares e cancerígenas. Para além de desencadear efeitos adversos na saúde humana, a poluição atmosférica origina uma série de problemas tanto a nível dos ecossistemas como do clima<sup>[8,19]</sup>.

Os efeitos da qualidade do ar na saúde humana são reconhecidos a nível mundial. Segundo a OMS *“a qualidade do ar é um requisito básico para a saúde humana e o seu bem-estar”*, a nível europeu *“a saúde humana e o bem-estar estão intimamente ligados à qualidade ambiental”*, em termos nacionais *“a gestão do ar visa preservar e melhorar a respectiva qualidade no meio ambiente, garantir a sua boa qualidade no interior dos edifícios e reduzir e prevenir as disfunções ambientais, de forma a minimizar os efeitos adversos para a saúde humana e para o ambiente”*<sup>[3,9,20]</sup>.

Os poluentes do ar afectam a saúde humana. Os seus efeitos nesta são resultado de uma série de eventos (Figura 1) que englobam a emissão de poluentes atmosféricos, o seu transporte/dispersão, a sua concentração no ambiente, a intensidade de exposição dos indivíduos (concentração e duração) e a dose (quantidade de material absorvido ou depositado no corpo durante um determinado intervalo de tempo)<sup>[21,22]</sup>.



**Figura 1:** Cadeia de eventos da poluição atmosférica, das fontes aos efeitos.  
Fonte: Martínez e Callejo<sup>[21]</sup>

Os poluentes do ar são emitidos a partir de fontes naturais (e.g. emissões decorrentes de actividade vulcânica, vegetação, vento) e fontes antropogénicas (resultantes da actividade humana). A sua emissão, em termos antropogénicos, deve-se ao desenvolvimento industrial e urbano e à intensificação da actividade humana, sendo os sectores da indústria, energia e transportes considerados como principais fontes de poluição atmosférica<sup>[8,23-25]</sup>.

Ao longo dos últimos anos, a nível europeu, temos assistido a uma diminuição de emissão de poluentes atmosféricos. Este decréscimo é traduzido pela adopção de medidas legislativas e de gestão e planeamento, nomeadamente:

- Programa Comunitário de acção em matéria de Ambiente;
- Programa de Acção Comunitária no domínio da Saúde Pública;
- Plano Nacional de acção para a Qualidade do Ar;
- Plano Nacional de Acção Ambiente e Saúde<sup>[2,3]</sup>.

Contudo, apesar desta redução, a concentração de poluentes atmosféricos mantem-se elevada, persistindo os problemas relacionados com a qualidade do ar<sup>[3]</sup>.

Segundo a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) “a poluição atmosférica urbana deverá tornar-se a primeira causa ambiental de mortalidade em todo o mundo até 2050, à frente da poluição da água e da falta de saneamento”<sup>[26]</sup>.

A prevenção e combate da dimensão das consequências da poluição do ar é um desafio constante para as sociedades contemporâneas. É um problema complexo, que carece de cooperação global por parte dos decisores políticos, com envolvimento da população, de forma a alcançar soluções holísticas que contemplem o desenvolvimento tecnológico, a optimização das infraestruturas, o planeamento urbano e mudanças comportamentais<sup>[8,27]</sup>.

## 2.2. Qualidade do ar interior e saúde

O acesso a um ar interno saudável é reconhecido como um direito básico dos cidadãos, sendo a QAI um factor determinante para qualidade de vida, saúde e bem-estar da população<sup>[28]</sup>.

Entende-se por QAI, o conjunto de características físicas, químicas e microbiológicas do ar em ambientes interiores, cujos níveis não afectem o conforto, bem-estar e saúde dos ocupantes<sup>[29]</sup>.

Como consequência da crise energética, na década de setenta, no sentido de promover a melhoria do desempenho energético e das condições de conforto dos edifícios, foram implementadas medidas para potenciar o isolamento (térmico e acústico), as quais originaram redução da ventilação natural dos edifícios<sup>[30,31]</sup>.

Desta forma, as taxas de renovação de ar (permutas entre ar interior e exterior) tornaram-se cada vez mais baixas, conduzindo a um incremento de poluentes no interior dos edifícios<sup>[30-32]</sup>.

Estas alterações estruturais aliadas à maior permanência das pessoas em espaços fechados, decorrente do estilo de vida adoptado pelas sociedades



contemporâneas em meios urbanos, aumentam o risco de exposição aos poluentes do ar interior, podendo originar efeitos na saúde humana (ver Anexo 1)<sup>[9,21]</sup>.

As reacções a estes poluentes poderão conduzir ao aparecimento de sintomas e doenças relacionados com edifícios, sendo classificados como:

- Síndrome do Edifício Doente (SED): os ocupantes apresentam sintomas agudos (e.g. dores de cabeça, tonturas, vómitos, irritação de olhos, nariz e garganta, dificuldade de concentração, apatia, cansaço) que desaparecem ou atenuam após abandono do edifício e, cuja causa é, geralmente desconhecida;
- Doenças Relacionadas com Edifícios (DRE): os ocupantes apresentam sintomas (e.g. tosse, apertos no peito, calafrios, febre e dores musculares) de uma doença específica (e.g. doença do Legionário, rinite, sinusite, asma), verificando-se persistência dos mesmos por vários dias após abandono do edifício<sup>[33,34]</sup>.

A exposição a poluentes do ar interior poderá traduzir-se no aparecimento e/ou agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares. Os sintomas associados dependerão da intensidade da exposição (concentração dos poluentes e duração de permanência nesse espaço fechado), do estado de saúde e da susceptibilidade dos ocupantes do edifício<sup>[3,35]</sup>.

A QAI depende da interacção de diversos factores, entre eles:

- A qualidade do ar exterior;
- A exposição a fontes de poluição interior (e.g. actividades humanas, materiais utilizados na construção dos edifícios, mobiliário, aparelhos de refrigeração e aquecimento, produtos de limpeza e higiene);
- A presença de agentes naturais (e.g. pólenes, fungos, bactérias, os próprios ocupantes);
- Sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) de edifícios (concepção e manutenção);
- O tempo de permanência em locais fechados<sup>[21,36-38]</sup>.

A temática QAI mantém-se um desafio para a comunidade científica. Nos últimos anos, têm sido realizados inúmeros estudos sobre os efeitos dos poluentes do ar interior na saúde humana e, alguns deles, indicam que o nível de poluentes em locais fechados poderá ser de duas a cinco vezes superior ao existente no exterior<sup>[6,11,33,39-44]</sup>.

A OMS determinou que a poluição do ar interior é o oitavo factor de risco para o desenvolvimento de doenças, sendo responsável por 2,7% da carga de doença a nível mundial<sup>[45]</sup>.

Em Portugal, através da Portaria n.º 353-A/2013, de 4 de Dezembro, foram estabelecidos os limiares de protecção e as condições de referência para os poluentes do ar interior (ver Anexo 2), bem como a respectiva metodologia de avaliação. Estes parâmetros são generalizados para edifícios de comércio e serviços<sup>[46]</sup>.

Num mundo em que a poluição ambiental é uma realidade e a maior parte do nosso tempo é passado em espaços fechados, a gestão da QAI assume especial relevância nas sociedades actuais. Tenta estabelecer um equilíbrio entre o conforto, a eficiência energética e a legislação em vigor, com vista a tornar esses espaços saudáveis, proporcionando bem-estar e saúde aos ocupantes e promovendo condições favoráveis à produtividade laboral<sup>[47-49]</sup>.

### **2.3. Parâmetros ambientais com influência na qualidade do ar interior**

Neste trabalho de dissertação apenas serão abordados os parâmetros ambientais mais relevantes, classificados como necessários ao desenvolvimento experimental por forma a atingir os objectivos deste estudo:

- Parâmetros físicos: temperatura (T) e humidade relativa (HR);
- Parâmetros químicos: compostos orgânicos voláteis totais (COVs Totais), formaldeído (CH<sub>2</sub>O), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>) e partículas em suspensão (PM);
- Parâmetros microbiológicos: bactérias e fungos.

Para além de uma breve descrição de cada parâmetro serão mencionados os seus potenciais efeitos na saúde humana. De notar que, tal como representado na Figura 1, esses efeitos dependem da concentração de poluentes no ar interior, do tempo de exposição e da dose absorvida pelos ocupantes dos espaços interiores.

#### **2.3.1. Temperatura e humidade relativa**

A potencial existência de poluentes no ar interior não constitui o único condicionante da QAI, devendo ser igualmente considerado o nível de conforto térmico percebido pelos ocupantes<sup>[21]</sup>.

Assim, a temperatura (T) e a humidade relativa (HR) do ar são factores que influenciam o conforto térmico dos ocupantes de um edifício, bem como apresentam influência no crescimento microbiano<sup>[21,36]</sup>.

Desta forma, estes dois parâmetros podem influenciar negativamente a QAI e afectar a saúde dos ocupantes. Por exemplo, uma HR baixa (inferior a 25%) poderá desencadear desidratação das membranas mucosas (olhos, garganta e nariz), podendo originar irritação das mesmas. Por outro lado, níveis elevados podem

provocar condensação nas superfícies interiores dos edifícios, levando ao desenvolvimento de fungos e outros microrganismos<sup>[21,36]</sup>.

Actualmente, a legislação referente à QAI em edifícios de comércio e serviços não contempla a definição de valores limite para estes dois parâmetros. No entanto, a Portaria n.º 291/2012, de 24 de Setembro, estabelece os requisitos mínimos a que deve obedecer o exercício da actividade das unidades privadas que prossigam actividades no âmbito da cirurgia de ambulatório. Assim, para as salas de observação/tratamentos estão definidas as seguintes condições ambientais: 25°C (valor máximo no Verão), 22°C (valor mínimo no Inverno) e uma humidade relativa entre os 40 a 60%<sup>[50]</sup>.

### 2.3.2. Compostos orgânicos voláteis

Os compostos orgânicos voláteis (COVs) são compostos químicos, contendo carbono que participam em reacções fotoquímicas atmosféricas<sup>[21,35]</sup>.

A sua presença é mais frequente em ambientes interiores, podendo a sua concentração ser até dez vezes superior à existente em ambientes exteriores. Têm como principais fontes de emissão: fotocopiadoras, impressoras, computadores, materiais de construção e decoração (e.g. carpetes mobiliário, calafetagem, tintas), produtos de limpeza, solventes, adesivos, insecticidas, herbicidas, produtos de combustão, fumo de tabaco, produtos de cosmética (e.g. perfumes)<sup>[21,36]</sup>.

Existe uma grande variedade de COVs no ar interior, os mais frequentes são o benzeno, tolueno, xileno, formaldeído e acetaldeído. Para analisar a QAI recorre-se, geralmente, à determinação de compostos orgânicos voláteis totais (COVs Totais), dado que a identificação individual se revela dispendiosa e morosa<sup>[36]</sup>.

O limiar de protecção definido para este poluente em edifícios de comércio e serviços é de 600 µg/m<sup>3</sup><sup>[46]</sup>.

Os efeitos que estes compostos poderão causar na saúde humana são variados e a sua presença está, normalmente, relacionada com o SED. Poderão provocar, entre outros, irritação de olhos, nariz e garganta, dores de cabeça, fadiga, reacções alérgicas, vertigens, náuseas, problemas respiratórios. De notar que alguns COVs são considerados cancerígenos (e.g. benzeno, formaldeído)<sup>[21,36,51]</sup>.

### 2.3.3. Formaldeído

O formaldeído (CH<sub>2</sub>O) pertence à família dos COVs. É um gás à temperatura e pressão ambientes, é incolor e apresenta um odor intenso<sup>[35,36]</sup>.

As principais fontes de emissão de CH<sub>2</sub>O são os materiais de construção e decoração (e.g. carpetes mobiliário, materiais de isolamento, madeira prensada,

contraplacado não selado, tecidos, tintas), papel químico, colas e desinfetantes<sup>[21, 35,49]</sup>.

A concentração de  $\text{CH}_2\text{O}$  em ambientes interiores está directamente relacionada com as fontes de emissão, ventilação, temperatura e humidade, podendo provocar efeitos na saúde humana, como por exemplo, irritação de olhos, nariz, garganta e vias respiratórias, dores de cabeça, náuseas, vertigens, fadiga. Foi classificado pela International Agency for Research on Cancer (IARC) como cancerígeno<sup>[9]</sup>.

Em edifícios de comércio e serviços, o limiar de protecção definido para este poluente é de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ <sup>[46]</sup>.

#### **2.3.4. Monóxido de carbono**

O monóxido de carbono (CO) é um gás incolor, inodoro e insípido. Em ambientes interiores, a sua presença deve-se ao fumo de tabaco, queima de combustíveis fósseis (e.g. petróleo, carvão, madeira, gás) e às emissões de veículos<sup>[9,36]</sup>.

A Portaria n.º 353-A/2013, de 4 de Dezembro definiu como limiar de protecção para este poluente, em edifícios de comércio e serviços, um valor de  $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ <sup>[46]</sup>.

Os ocupantes de edifícios, quando expostos a níveis elevados deste gás (acima do limiar de protecção), poderão apresentar sintomas como dores de cabeça, náuseas, fadiga, vertigens, dores no peito, alterações a nível respiratório pela formação de carboxihemoglobina, que diminui o transporte de oxigénio, podendo até causar morte<sup>[21,36,49,51]</sup>.

#### **2.3.5. Dióxido de carbono**

O dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é um gás incolor e inodoro. A sua presença em ambientes interiores deve-se, maioritariamente, a dois factores: à presença humana (respiração) e à queima de combustíveis fósseis (e.g. petróleo, carvão, madeira, gás)<sup>[36]</sup>.

O limiar de protecção definido para este poluente, em edifícios de comércio e serviços, é de  $2250 \text{ mg}/\text{m}^3$ <sup>[46]</sup>.

A sua concentração no ar interior depende das taxas de ventilação e de ocupação, variando ao longo do dia. Geralmente, essa concentração (abaixo do limiar de protecção) não é considerada um perigo para a saúde dos ocupantes. No entanto, em caso de exposição excessiva, poderá provocar, entre outros, dores de cabeça, irritação de olhos e garganta, fadiga e falta de ar<sup>[21,36]</sup>.

Este poluente é considerado um indicador da QAI, nomeadamente, da taxa de renovação do ar interior. Uma concentração elevada de  $\text{CO}_2$  (valores acima dos  $1800 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) poderá indicar a não remoção pelos sistemas de AVAC deste poluente do

espaço interior, podendo ocorrer acumulação de outros poluentes nesse mesmo espaço devido a uma insuficiente taxa de renovação do ar interior<sup>[36]</sup>.

### 2.3.6. Ozono

O ozono ( $O_3$ ) é um gás incolor, apresenta um odor característico, é extremamente oxidante e funciona como camada protectora das radiações ultravioleta<sup>[21]</sup>.

O  $O_3$  tem como fontes emissoras, em ambientes interiores, as fotocopiadoras, impressoras a laser, motores eléctricos, purificadores de ar electrostáticos, geradores de ozono e ozono do ar exterior (fonte principal)<sup>[21]</sup>.

A exposição a este gás pode causar irritação de olhos e garganta, reacções alérgicas, dores de cabeça, secura de boca e garganta, dores no peito e tosse<sup>[21]</sup>.

### 2.3.7. Partículas em suspensão

As partículas em suspensão (PM) ou aerossóis constituem um conjunto de partículas sólidas e líquidas suspensas no ar, apresentam grande variedade na sua composição e são classificadas de acordo com a sua dimensão<sup>[36,49]</sup>.

Existem três categorias de partículas, consideradas preocupantes para a saúde humana, que se caracterizam pelo seu diâmetro aerodinâmico equivalente (DAE): as partículas grossas ( $PM_{10}$ ) com DAE entre 2,5 e 10  $\mu m$ , as partículas finas ( $PM_{2,5}$ ) com DAE inferior a 2,5  $\mu m$  e as partículas ultrafinas ( $PM_{0,1}$ ) com DAE inferior a 0,1  $\mu m$ <sup>[6,36]</sup>.

As partículas com DAE superior a 10  $\mu m$  são, na sua maioria, filtradas pelas vias respiratórias superiores (nariz e garganta). As  $PM_{10}$  são capazes de entrar no sistema respiratório, as  $PM_{2,5}$  conseguem alcançar os alvéolos e as  $PM_{0,1}$  podem, após inalação, entrar na corrente sanguínea<sup>[6]</sup>.

As principais fontes de emissão, em ambientes interiores, são materiais de construção e decoração (e.g. carpetes mobiliário, materiais de isolamento), fumo de tabaco, actividades de limpeza e sistemas de ventilação<sup>[21,36]</sup>.

A exposição às PM em ambientes interiores pode provocar efeitos adversos na saúde humana, tais como irritação de olhos, nariz, garganta e pele, bem como problemas respiratórios. Estes efeitos dependem da deposição das mesmas no aparelho respiratório e da capacidade que este apresenta para as remover<sup>[21,36]</sup>.

Neste trabalho de investigação apenas foi efectuada a determinação de  $PM_{10}$ , cujo limiar de protecção definido para edifícios de comércio e serviços é de 50  $\mu g/m^3$ <sup>[46]</sup>.

### 2.3.8. Bactérias

As bactérias, organismos procariontes e unicelulares, podem encontrar-se isoladas ou em colónias<sup>[28,36]</sup>.

Os principais factores para o crescimento destes microrganismos, em espaços interiores, estão directamente relacionados com as condições de humidade e temperatura, constituindo superfícies empoeiradas, água estagnada e/ou condensação nos sistemas de AVAC, materiais húmidos, condensadores de evaporação, torres de arrefecimento e ocupantes do espaço (ser humano, plantas e animais)<sup>[21,36]</sup>.

As bactérias, capazes de originar efeitos adversos na saúde humana são, maioritariamente, Gram-negativas, como por exemplo, *Pseudomonas spp.*, *Enterobacteriaceas* e *Legionella pneumophila*. Esses efeitos são diversos, entre eles, febre, dores de cabeça, fadiga, dores musculares, infecções, irritação de olhos, nariz, garganta e pele<sup>[28,36]</sup>.

As condições de referência, em edifícios de comércio e serviços, para as bactérias estabelecem que a sua concentração no interior deve ser inferior à do exterior, acrescida de 350 UFC/m<sup>3</sup><sup>[46]</sup>.

### 2.3.9. Fungos

Os fungos são organismos eucariontes, heterotróficos, os quais durante o período de crescimento poderão libertar COVs. O intervalo de temperatura ideal para seu crescimento situa-se entre 10 e 35°C. Existem dois tipos morfológicos de fungos, os filamentosos e os leveduriformes<sup>[28,36]</sup>.

À semelhança das bactérias, os principais factores para o crescimento destes microrganismos, em espaços interiores, são as condições de humidade e temperatura<sup>[21,36]</sup>.

Os fungos podem ser transportados para o interior de edifícios através do vestuário, de superfícies de novos materiais, da ventilação natural ou mecânica. Um número excessivo de fungos pode afectar o bem-estar e a saúde humana, podendo originar reacções alérgicas e doenças respiratórias<sup>[28,36]</sup>.

A concentração destes microrganismos no interior de edifícios de comércio e serviços, expressa em UFC/m<sup>3</sup>, deve ser inferior à detectada no exterior<sup>[46]</sup>.

## 2.4. Gestão da qualidade do ar interior em unidades de saúde

As unidades de saúde, cuja principal função é promover a saúde dos cidadãos, são caracterizadas pela sua complexidade<sup>[12,14,15,52,53]</sup>.

Estas unidades apresentam, a nível estrutural, um conjunto diversificado de espaços e serviços, tais como, unidades de cuidados intensivos, blocos operatórios, salas de recobro, salas de exames complementares, laboratórios, serviço de urgência, salas de espera, entre outros, com diferentes exigências de climatização e ventilação, higiene e desinfeção<sup>[54,55]</sup>.

Apresentam elevada densidade ocupacional, a qual se divide em três categorias: doentes (estadia dependente do quadro clínico); profissionais de saúde (permanência elevada, por ser o seu local de trabalho); visitantes/acompanhantes (período de permanência temporário). Estes grupos diferem pelo seu estado de saúde e nível de susceptibilidade aos poluentes do ar interior, cuja presença poderá afectar, ainda que de forma diferenciada, a sua saúde<sup>[54,56]</sup>.

A gestão ambiental destas instituições é verdadeiramente complexa e constitui uma parte crítica dos protocolos de gestão, não podendo ser negligenciada, uma vez que a presença de determinados poluentes no ar interior, independentemente da sua natureza, acarreta potenciais riscos para a saúde dos ocupantes<sup>[11,16,57,58]</sup>.

A gestão da QAI em unidades de saúde, contemplada na gestão ambiental, envolve a interacção de diversos factores:

- Qualidade do ar exterior;
- Características estruturais dos edifícios;
- Diversidade de espaços interiores;
- Multiplicidade de actividades (e.g. uso de substâncias químicas para higienização e desinfeção; utilização de gases anestésicos);
- Presença de diversos poluentes (exteriores e interiores);
- Elevado número de ocupantes;
- Sistemas de AVAC, entre outros<sup>[12,36,41]</sup>.

Tendo em consideração a especificidade da actividade hospitalar, os seus ocupantes, podem ser expostos a uma vasta gama de poluentes químicos, tais como: COVs (e.g. uso de detergentes e desinfectantes, gases anestésicos, produtos de laboratório, materiais de construção, mobiliário); formaldeído (e.g. materiais de construção, aplicação directa em laboratórios de anatomia patológica); monóxido de carbono, ozono e partículas em suspensão (e.g. provenientes do ar exterior)<sup>[58-60]</sup>.

Nos últimos anos a comunidade técnico-científica tem desenvolvido estudos alusivos a um outro papel que a QAI poderá desempenhar nas instituições de saúde, mais concretamente, como potencial meio de prevenção de infecções associadas aos cuidados de saúde (IACS), uma vez que o ar tem sido reconhecido como vector de

transporte de microrganismos, ou seja, como potencial via de transmissão de infecção<sup>[11-13,15,16,48,52,61-64]</sup>.

Estima-se que os microrganismos transportados pelo ar provocam cerca de 10 a 20% de IACS<sup>[15]</sup>. São exemplo desta via de transmissão, a tuberculose (responsável por 1,8 milhões de mortes por ano a nível mundial), o sarampo, a varicela e a gripe<sup>[61,65,66]</sup>.

Apesar da aplicação rotineira dos métodos de prevenção e controlo de infecção (e.g. higienização das mãos e superfícies; uso adequado de EPIs; isolamento; prescrição sensata de antibióticos; controlo ambiental), a transmissão de agentes patogénicos continua a ser uma realidade nas unidades de saúde a nível mundial<sup>[66-70]</sup>.

Por forma a otimizar a gestão da QAI em meios hospitalares é necessária uma abordagem multidisciplinar, no sentido de otimizar a prevenção, identificação e correcção de eventuais problemas. Esta abordagem é fundamental para garantir uma QAI que minimize potenciais efeitos adversos na saúde dos ocupantes, proporcione conforto, bem-estar, recuperação dos doentes, condições favoráveis à produtividade dos profissionais de saúde e optimização de custos<sup>[37,56,71,72]</sup>.

Neste contexto, a gestão da QAI em instituições de saúde é uma área de estudo que merece atenção e desempenha um papel fundamental na protecção e promoção da saúde dos seus ocupantes<sup>[12,16]</sup>.

## 2.5. Tecnologias de gestão da qualidade do ar interior

O estudo da problemática da QAI tem desencadeado uma série de avanços técnico-científicos, cujo resultado se traduz na oferta de inúmeras soluções tecnológicas destinadas à prevenção e controlo da poluição do ar interior, permitindo minimizar potenciais efeitos adversos na saúde dos ocupantes<sup>[12,13,16]</sup>.

Segundo Leung e Chan<sup>[12]</sup> existem cinco aplicações técnicas de gestão da QAI em unidades de saúde:

- Ventilação mecânica - introdução de ar novo e/ou extracção de ar viciado. É essencial para que ocorra diluição da concentração dos poluentes do ar interior (e.g. sistemas de AVAC);
- Filtração - sistemas de purificação do ar através da passagem deste por filtros colocados nos sistemas de ventilação. Este método permite a remoção de partículas, incluindo microrganismos. São exemplo, os filtros high efficiency particulate air (HEPA);
- Pressão diferencial (positiva ou negativa) - esta técnica é utilizada em quartos de isolamento. Os quartos com pressão positiva protegem o



doente (e.g. doentes submetidos a transplantes), os quartos com pressão negativa protegem o ambiente e profissionais de saúde (e.g. doentes portadores de infecções transmissíveis, tuberculose);

- Fluxo direccionado de ar - a circulação do ar deve ocorrer das zonas limpas para as zonas progressivamente mais contaminadas, sendo o ar contaminado extraído para os lados ao nível do chão. Este método é aplicado nos blocos operatórios aliado aos filtros HEPA;
- Ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) – sistema que utiliza radiação ultravioleta para destruição de microrganismos. Esta aplicação técnica pode ser usada para complementar a acção da ventilação mecânica, filtração e pressão diferencial, no entanto, não pode ser considerada como uma alternativa a essas técnicas.

Em unidades de saúde, as tecnologias mais utilizadas na gestão da QAI são os filtros HEPA e o sistema UVGI<sup>[73]</sup>.

Ao longo dos anos, diversas tecnologias têm surgido no mercado da saúde, como potenciais soluções para melhorar a QAI, potenciando condições favoráveis à recuperação dos doentes e à produtividade dos profissionais de saúde<sup>[13,74]</sup>.

Os sistemas de purificação do ar constituem uma dessas soluções tecnológicas. São utilizados para complementar os sistemas de AVAC existentes, no sentido de reduzir os níveis de poluentes do ar interior<sup>[74,75]</sup>.

### **2.5.1. Sistema de oxidação biológica**

O sistema tecnológico de purificação do ar interior, em estudo, utiliza um fenómeno natural para tratar o ar, denominado oxidação biológica ou biodegradação. Em termos gerais, oxidação biológica é a digestão/destruição de poluentes, neste caso específico, presentes no ar interior (e.g. partículas em suspensão, gases, COVs, bactérias, fungos e esporos), efectuada por microrganismos e enzimas<sup>[76]</sup>.

Esta tecnologia é sustentada por dois componentes principais:

- Biorreactores: equipamentos portáteis, cujo funcionamento consiste em três fases em contacto estrito: fase sólida (o próprio biorreactor), fase líquida (a água) e fase gasosa (o ar a tratar) (Figura 2);
- Biomassa: aditivo que é introduzido nos biorreactores, composto por microrganismos seleccionados, não patogénicos, não geneticamente modificados e enzimas<sup>[76]</sup>.



**Figura 2:** Biorreator.

Fonte: [http://media.wix.com/ugd/9d4faa\\_f2f617cb9fc149daa4da86197ca0a9d5.pdf](http://media.wix.com/ugd/9d4faa_f2f617cb9fc149daa4da86197ca0a9d5.pdf)

No interior de cada biorreator (Figura 3) encontra-se um suporte físico (membrana) para o crescimento da biomassa (sob a forma de biofilme), adicionada a cada trinta dias aos biorreactores<sup>(a)</sup>.

Essa membrana é constituída por um bio-suporte, células imobilizadas e uma película protectora<sup>(a)</sup>.

O equilíbrio entre o oxigénio fornecido ao sistema através da circulação de ar forçado (garantido por uma ventoinha) e da recirculação de água na membrana (assegurada por uma bomba) cria as condições biofísicas necessárias ao desenvolvimento da biomassa, responsável pela “digestão” (oxidação biológica) dos poluentes do ar interior<sup>(a)</sup>.

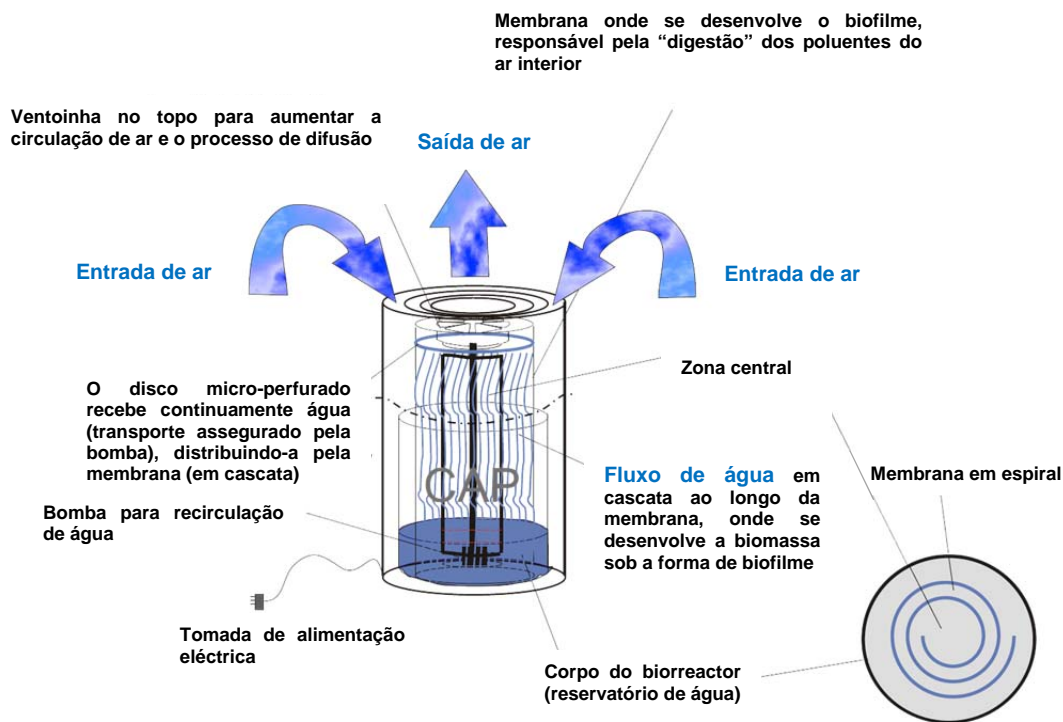


**Figura 3:** Interior de um biorreator.

Fonte: [http://media.wix.com/ugd/9d4faa\\_b43911dff38f471b9c6c3a0b9a77f002.pdf](http://media.wix.com/ugd/9d4faa_b43911dff38f471b9c6c3a0b9a77f002.pdf)

<sup>(a)</sup> <http://www.u-earth.eu/en/technology/immobilized-cell-technology>

O mecanismo de funcionamento dos biorreactores encontra-se representado na Figura 4.



**Figura 4:** Esquema simplificado de funcionamento de um biorreator.  
 Fonte: <http://www.u-earth.eu/en/technology/immobilized-cell-technology>

Este mecanismo pode ser descrito, sumariamente, como uma "digestão" de poluentes, os quais são capturados para o interior dos biorreactores e digeridos biologicamente, sendo reduzidos a material inerte<sup>(b)</sup>.

A configuração dos biorreactores origina uma zona de ar circundante electricamente neutra, que atrai as partículas carregadas positiva e negativamente (poluentes do ar interior)<sup>(b)</sup>.

Essas partículas (poluentes do ar interior) são capturadas para o interior dos biorreactores, onde são biologicamente oxidadas pelos microrganismos e enzimas aí presentes<sup>(b)</sup>.

Os produtos resultantes da oxidação biológica são, posteriormente, transformados em água, dióxido de carbono e compostos elementares, depositando-se no fundo dos biorreactores, sendo eliminados como subprodutos naturais e inofensivos<sup>(b)</sup>.

## 2.6. A gestão em saúde face à inovação tecnológica

Nos últimos anos, o mundo da saúde tem-se deparado com o crescimento contínuo de soluções tecnológicas, cuja rápida difusão tem criado, simultaneamente,

<sup>(b)</sup> <http://www.u-earth.eu/en/technology/biohygienics>

desafios e pressões a todos os envolvidos na área da saúde - profissionais de saúde, membros da indústria farmacêutica e da comunidade biotecnológica, peritos legais, decisores políticos, gestores e população<sup>[77,78]</sup>.

Face à actual conjuntura de globalização, às exigências dos cidadãos e à crescente concorrência dos serviços de saúde, torna-se importante que as organizações sejam capazes de acrescentar valor ao que produzem e que apostem num desempenho cada vez melhor<sup>[79]</sup>.

A gestão da saúde aposta cada vez mais em estratégias de intervenção e prevenção, tendo como componentes fundamentais, a segurança do doente e a melhoria contínua da qualidade dos cuidados de saúde prestados, por forma a atingir maior diferenciação e competitividade<sup>[80-82]</sup>.

As organizações de saúde devem desenvolver e implementar programas de gestão baseados na evidência, na prevenção e na optimização de recursos, por forma a potenciar a sustentabilidade dos sistemas de saúde e a defesa da saúde pública<sup>[83]</sup>.

Assim, os gestores da saúde, perante o desenvolvimento exponencial de tecnologias, são confrontados com diversos dilemas aquando da tomada de decisão, quanto à adopção ou não de uma determinada tecnologia, com vista a atingir uma resposta mais adequada às necessidades de saúde identificadas, garantindo tanto a distribuição equitativa de recursos limitados como a optimização de meios e/ou tecnologias para detecção, prevenção e tratamento de doenças<sup>[84]</sup>.

## **2.7. Enquadramento legislativo**

Em Portugal, à semelhança de outros países europeus, ainda não foram criadas normas específicas para a QAI em instalações clínicas e hospitalares.

Em 2006, a QAI foi integrada na legislação nacional, tendo sido adoptados diplomas no sentido de promover o desempenho energético e o conforto dos edifícios, bem como a qualidade de vida dos ocupantes.

Assim, a Directiva n.º 2002/91/CE, de 16 de Dezembro, do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa ao desempenho energético dos edifícios, foi transposta para a legislação nacional através da publicação de três diplomas:

- Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril, que aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios;
- Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril, que aprovou o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios;
- Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril, que aprovou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.

Portugal desenvolveu os requisitos de QAI, definindo valores de concentração máxima de referência para parâmetros químicos e microbiológicos, potencialmente presentes no ar interior de edifícios<sup>[85]</sup>.

Em Agosto de 2013, com a transposição para o ordenamento jurídico nacional da Directiva n.º 2010/31/EU, de 19 de Maio, do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa às novas disposições do desempenho energético dos edifícios, à luz das metas e dos desafios acordados pelos Estados-Membros para 2020, surge um novo diploma, o Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de Agosto, onde a QAI deixa de ser contemplada na certificação energética, reunindo os diplomas *supra* mencionados num só diploma. Este assegura não só a transposição da directiva em referência, como também uma revisão da legislação nacional:

- Revisão do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios;
- Revisão do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (actual Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação);
- Revisão do Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (actual Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços);
- No que respeita à política de QAI, considera-se da maior relevância a manutenção dos valores mínimos de caudal de ar novo por espaço e dos limiares de protecção para as concentrações de poluentes do ar interior, de forma a salvaguardar os mesmos níveis de protecção de saúde e de bem-estar dos ocupantes dos edifícios;
- São eliminadas as auditorias de QAI, mantendo-se a necessidade de se proceder ao controlo das fontes de poluição e à adopção de medidas preventivas, de forma a cumprir os requisitos legais para a redução de possíveis riscos para a saúde pública;
- Os edifícios de comércio e serviços existentes ficam sujeitos ao cumprimento dos limiares de protecção e condições de referência dos poluentes previstos na Portaria n.º 353-A/2013, de 4 de Dezembro<sup>[86]</sup>.

De notar que o Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto sofreu três alterações:

- Decreto-Lei nº 68-A/2015, de 30 de Abril;
- Decreto-Lei n.º 194/2015, de 14 de Setembro;
- Decreto-Lei 251/2015, de 25 de Novembro.

Estas alterações foram efectuadas no sentido de: desenvolver a transposição da Directiva n.º 2010/31/EU, de 19 de Maio, do Parlamento Europeu e do Conselho, esclarecendo dúvidas entretanto suscitadas pela Comissão Europeia; harmonizar o regime jurídico nacional com as orientações e prática europeia no que se refere ao desempenho energético dos edifícios, por forma a elevar o nível de exigência em termos de eficiência energética, essencial ao cumprimento dos objectivos fixados para 2020<sup>[87-89]</sup>.

Apesar da importância demonstrada da QAI em serviços de saúde, actualmente, ainda não foi definido um padrão específico de monitorização da QAI para ambientes hospitalares e outras unidades de saúde.

Pelo que, a Portaria n.º 353-A/2013, de 4 de Dezembro, relativa à ventilação e QAI, é o instrumento utilizado na verificação do limiar de protecção para poluentes físico-químicos e condições de referência para poluentes microbiológicos de edifícios de comércio e serviços, onde se incluem as unidades de saúde<sup>[46,49]</sup>.

Segundo o mesmo documento, a fiscalização da QAI, em grandes edifícios de comércio e serviços, deve ser realizada pela Inspecção Geral do Ambiente e Ordenamento do Território (IGAMAOT) e de acordo com metodologia a estabelecer pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA) e pela Direcção-Geral da Saúde (DGS)<sup>[46,49]</sup>.

---

## **PARTE II**

### **CASO DE ESTUDO**

---





## CAPÍTULO III

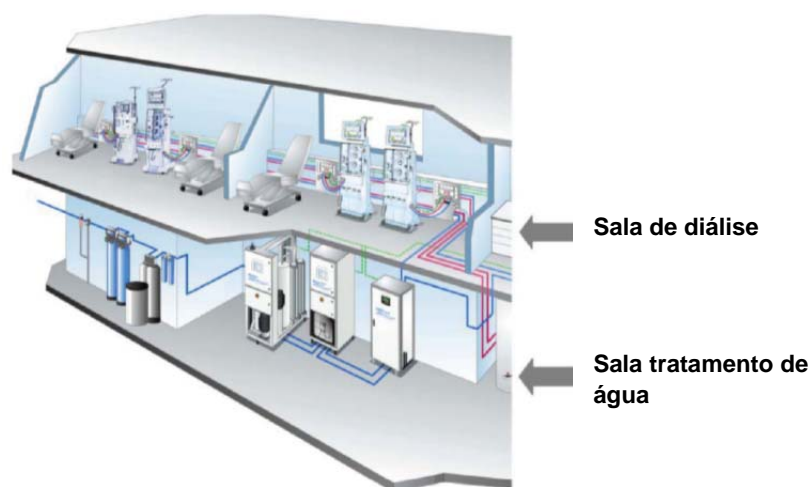
### METODOLOGIA

#### 3.1. Caso de estudo

O presente caso de estudo foi realizado numa unidade privada de diálise da Grande Lisboa, no âmbito de um projecto-piloto desenvolvido pela investigadora em contexto profissional, o qual serviu de suporte ao desenvolvimento desta dissertação.

Uma unidade de diálise é uma unidade de saúde direccionada, principalmente, para o tratamento, em regime ambulatorio, de doentes com insuficiência renal crónica<sup>[90]</sup>.

As unidades de diálise distinguem-se de outras unidades de saúde prestadoras de cuidados de saúde em regime ambulatorio, essencialmente, pela existência de salas de diálise e de sala de tratamento de água. Nesta encontra-se instalado o sistema de tratamento de água responsável pela produção de água tratada compatível com as exigências legais para a realização de tratamentos hemodialíticos (Figura 5)<sup>[90,91]</sup>.



**Figura 5:** Representação esquemática de uma unidade de diálise.  
Fonte: Miguel, et al.<sup>[90]</sup>

Os doentes em tratamento dialítico crónico efectuem, geralmente, três sessões de diálise por semana, tendo cada tratamento a duração de quatro a cinco horas<sup>[90,92]</sup>.

Em média, uma unidade de diálise realiza dois turnos por dia e funciona seis dias por semana, visto que cada doente é tratado três vezes por semana (segunda-quarta-sexta ou terça-quinta-sábado)<sup>[90]</sup>.

As unidades de saúde, tal como mencionado anteriormente, apresentam uma série de factores que influenciam a QAI (e.g. aglomeração de pessoas, emissões de poluentes decorrentes das diversas actividades).

A QAI é considerada, pelo grupo empresarial privado, essencial para a garantia da qualidade dos serviços prestados nas suas unidades de diálise. Por outro lado, é percepcionada como factor-chave para a promoção das condições laborais, traduzida em ganhos significativos no bem-estar, na saúde, no comportamento, na produtividade e na redução do índice de absentismo laboral resultante da exposição a poluentes do ar interior.

Perante o elevado número diário de ocupantes das unidades de diálise, as características estruturais das mesmas, a tipologia das actividades desenvolvidas (e.g. produtos químicos utilizados nas desinfecções das máquinas de hemodiálise; gases anestésicos, entre outros) e as soluções tecnológicas de purificação do ar interior disponíveis no mercado, foi identificada a necessidade de avaliar/caracterizar a QAI e testar a evolução da mesma após instalação de um sistema tecnológico de purificação do ar interior.

O sistema de purificação do ar seleccionado<sup>(c)</sup> foi um sistema de oxidação biológica, baseado na instalação de equipamentos, denominados biorreactores, na unidade de diálise da Grande Lisboa.

No sentido de responder aos objectivos formulados, foram contemplados dois períodos distintos neste trabalho de investigação:

- Pré-instalação dos biorreactores;
- Pós-instalação dos biorreactores.

A nível metodológico e operacional, por forma a caracterizar a QAI, assim como avaliar o papel dos biorreactores na QAI da unidade de diálise, foram realizadas diversas medições locais e amostragens (pré e pós-instalação dos biorreactores) para análise dos potenciais poluentes do ar interior.

Tanto o processo de amostragem como a componente laboratorial foram assegurados por técnicos de um laboratório independente e devidamente certificado, o Laboratório de Análises do Instituto Superior Técnico (LAIST).

A parte prática deste estudo decorreu entre Março de 2013 e Janeiro de 2014, estando a investigadora envolvida em todos os processos necessários ao desenvolvimento do mesmo, incluindo planeamento, implementação e coordenação das actividades inerentes à sua realização.

Foi desenvolvido um esquema para a metodologia deste projecto-piloto (ver Anexo 3).

Tal como referido no “Preâmbulo” desta dissertação, a autorização para publicação dos resultados obtidos no projecto-piloto foi emitida no corrente ano.

---

<sup>(c)</sup> A investigadora não teve influência no processo de selecção da tecnologia de purificação do ar interior.

### 3.2. Caracterização do local de estudo

A unidade privada de diálise seleccionada para este estudo situa-se na Grande Lisboa. Trata-se de uma unidade de diálise periférica<sup>[93]</sup>, especializada em técnicas terapêuticas de substituição da função renal, com cerca de 2250 m<sup>2</sup> distribuídos por 3 pisos (Tabela 1).

**Tabela 1:** Localização das unidades funcionais da clínica de diálise.

| Piso | Unidades funcionais                     |
|------|---|
| -1   | Armazém e sistema de tratamento de água |
| 0    | Unidade de diálise                      |
| 1    | Centro de acessos vasculares            |

O piso térreo constitui o piso principal desta unidade de diálise, onde se encontram: zona de recepção; salas de espera; zonas administrativas e de apoio geral; 4 salas de diálise, sendo uma delas destinada a doentes portadores de vírus da Hepatite B (HBV); gabinetes de consulta médica; instalações sanitárias e vestiários de doentes; instalações sanitárias e vestiários de colaboradores; compartimento de sujos e despejos; sala de manutenção de equipamentos; copa.

Neste piso trabalham cerca de 115 profissionais de saúde, entre eles, 19 médicos, 57 enfermeiros, 30 assistentes operacionais, 2 técnicos de manutenção e 7 técnicos administrativos.

Esta unidade de diálise efectua tratamentos hemodialíticos a cerca de 284 doentes, sendo realizados aproximadamente 40.167 tratamentos por ano. A capacidade total desta unidade de diálise é de 68 doentes em tratamento simultâneo por turno.

O primeiro piso alberga o centro de acessos vasculares, onde se efectuam consultas médicas, bem como construção, colocação, remoção e correcção de acessos vasculares. Este engloba a unidade de cirurgia ambulatoria, sala de recobro, unidade de intervenção endovascular com apoio angiográfico, recepção, sala de espera, gabinetes médicos, vestiários, instalações sanitárias e copa.

O piso inferior (-1) é de acesso restrito e é destinado ao armazém e sistema de tratamento de água.

Esta unidade de diálise foi escolhida com base nos seguintes critérios:

- Proximidade do laboratório de análises (Região de Lisboa e Vale do Tejo);
- Unidade de diálise periférica;
- Disponibilidade de plantas e desenhos das instalações;
- Interesse demonstrado pela inclusão no estudo.

### 3.2.1. Caracterização das áreas-piloto

Este trabalho de investigação tem como enfoque as áreas-piloto apresentadas na Tabela 2

**Tabela 2:** Localização, denominação e codificação das áreas-piloto.

| Piso | Área-piloto         | Código |
|------|---------------------|--------|
| 0    | Sala de diálise A   | DRA    |
| 0    | Sala de diálise B   | DRB    |
| 0    | Sala de diálise C   | DRC    |
| 0    | Sala de diálise HBV | DRHBV  |

Foram seleccionadas por serem entendidas como áreas críticas no controlo da infecção e por se localizarem no piso térreo, o qual apresenta uma maior taxa de ocupação, comparativamente, com os outros pisos da unidade de diálise.

As áreas-piloto contempladas neste estudo localizam-se no piso 0 e constituem as salas de diálise, onde se realizam os tratamentos de substituição da função renal.

A sala de diálise A (DRA) apresenta uma área de, aproximadamente, 211 m<sup>2</sup> e 25 postos de diálise (capacidade máxima para tratar 25 doentes em simultâneo).

A sala de diálise B (DRB) tem uma capacidade máxima para tratar 29 doentes em simultâneo e uma área de 222 m<sup>2</sup>.

A sala de diálise C (DRC) é constituída por 7 postos de diálise e uma área aproximada de 60 m<sup>2</sup>.

A sala de diálise HBV (DRHBV) tem capacidade para tratar 7 doentes em simultâneo e ocupa uma área de 56 m<sup>2</sup>.

Nos Anexos 4, 5, 6 e 7 encontram-se os esquemas das áreas-piloto contempladas nesta dissertação (os esquemas não se encontram à escala).

### 3.3. Distribuição dos biorreactores

A distribuição dos biorreactores (quantidade, localização e tipologia a instalar nas áreas-piloto) foi definida pelo fabricante (U-Earth Biotechnologies s.r.l.), tendo sido efectuada em parceria e de acordo com as indicações do mesmo.

Foram instalados dois modelos de biorreactores, CAP-85 e CAP-600, cujas características se encontram enunciadas na Tabela 3.

**Tabela 3:** Modelos e características dos biorreactores instalados.

| Modelo  | Dimensões<br>(altura x diâmetro) | Peso<br>(vazio) | Requisitos eléctricos |         |
|---------|----------------------------------|-----------------|-----------------------|---------|
|         |                                  |                 | Alimentação           | Consumo |
| CAP-85  | 82 cm x 38 cm                    | 27 Kg           | 230 V (50 Hz)         | 24 W    |
| CAP-600 | 170 cm x 76 cm                   | 48 Kg           | 230 V (50 Hz)         | 420 W   |



Nesta fase, o fabricante teve em consideração a arquitectura da unidade de diálise, as dimensões das salas (m<sup>2</sup>), a localização dos aparelhos de ar condicionado, de portas e janelas, as trajectórias de circulação de doentes e colaboradores e a localização de pontos de abastecimento de água e electricidade.

A distribuição dos biorreactores, por tipologia e quantidade, nas área-piloto encontra-se na Tabela 4.

**Tabela 4:** Distribuição, modelo, quantidade e codificação dos biorreactores.

| Piso | Área-piloto | Modelo  | Quantidade | Código      |
|------|-------------|---------|------------|-------------|
| 0    | DRA         | CAP 600 | 2          | NCLDRA600A  |
|      |             |         |            | NCLDRA600B  |
| 0    | DRB         | CAP 600 | 2          | NCLDRB600A  |
|      |             |         |            | NCLDRB600B  |
| 0    | DRC         | CAP 85  | 2          | NCLDRC85A   |
|      |             |         |            | NCLDRC85B   |
| 0    | DRHBV       | CAP 85  | 2          | NCLHBVDR85A |
|      |             |         |            | NCLHBVDR85B |

O funcionamento dos biorreactores foi contínuo, 24 horas por dia, durante o período prático deste estudo (Março de 2013 a Janeiro de 2014), salvo ocorrência de avarias pontuais e manutenção dos equipamentos, a qual foi realizada a 7 de Julho de 2013.

A localização dos biorreactores nas áreas-piloto encontra-se representada nos Anexos 4, 5, 6, e 7 pelos símbolos  (CAP 600) e  (CAP 85).

### 3.3.1. Manutenção dos biorreactores

Na Tabela 5 está representado o plano de manutenção (reposição da biomassa e higienização) dos biorreactores. Este foi definido e realizado de acordo com as recomendações do fabricante (U-Earth Biotechnologies s.r.l.).

**Tabela 5:** Cronograma de manutenção dos biorreactores.

| Atividades         | Mar-13  |   |    |   | Abr-13  |   |   |   | Mai-13  |   |   |   | Jun-13  |   |   |   | Jul-13  |   |   |   | Ago-13  |   |   |   | Set-13  |   |   |   | Out-13  |   |   |   | Nov-13  |   |   |   | Dez-13  |   |   |   | Jan-14  |   |  |  |  |
|--------------------|---------|---|----|---|---------|---|---|---|---------|---|---|---|---------|---|---|---|---------|---|---|---|---------|---|---|---|---------|---|---|---|---------|---|---|---|---------|---|---|---|---------|---|---|---|---------|---|--|--|--|
|                    | Semanas |   |    |   | Semanas |   |   |   | Semanas |   |   |   | Semanas |   |   |   | Semanas |   |   |   | Semanas |   |   |   | Semanas |   |   |   | Semanas |   |   |   | Semanas |   |   |   | Semanas |   |   |   | Semanas |   |  |  |  |
|                    | 1       | 2 | 3  | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 |         |   |  |  |  |
| Reposição Biomassa | 3       |   | 16 |   | 6       |   |   |   |         | 6 |   |   |         | 6 |   |   |         | 7 |   |   |         | 2 |   |   |         | 6 |   |   |         | 7 |   |   |         | 6 |   |   |         | 6 |   |   |         | 9 |  |  |  |
| Higienização       |         |   |    |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         | 7 |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |  |  |  |

A reposição da biomassa, responsável pela oxidação biológica dos poluentes do ar interior, foi efectuada pela investigadora, segundo indicações do fabricante, apresentando a seguinte periodicidade:

- 1ª Reposição: aquando da instalação e arranque dos biorreactores;
- 2ª Reposição: 15 dias após a 1ª reposição;

- 3ª Reposição: 15 dias após 2ª reposição;
- Reposições seguintes: 30 dias após a reposição precedente.

No sentido de garantir o bom funcionamento dos biorreactores foi efectuada, em Julho de 2013, uma higienização completa aos mesmos. Esta foi definida e efectuada por técnicos da empresa fabricante (U-Earth Biotechnologies s.r.l.).

A reposição de água, necessária ao funcionamento dos biorreactores, foi efectuada pelos 2 técnicos de manutenção da unidade de diálise, que asseguraram uma verificação diária do nível de água, por forma a garantir que o mesmo se encontrasse dentro dos limites, mínimo e máximo, indicados nos equipamentos.

### 3.4. Amostragem e metodologia

O método e execução das amostragens do ar interior e dos ensaios laboratoriais foram assegurados por técnicos do LAIST, sendo devidamente acompanhados pela investigadora.

Nesta fase foram desenvolvidos os seguintes passos:

- Seleção dos parâmetros a analisar;
- Definição dos pontos de colheita;
- Delineamento do método e processo de amostragem, incluindo o transporte<sup>(d)</sup> das amostras, no mesmo dia, para o LAIST;
- Elaboração do mapa de amostragem/actividades;
- Acompanhamento do processo de medições locais e recolha de amostras do ar interior;
- Recepção e interpretação dos boletins de análise emitidos pelo LAIST.

#### 3.4.1. Organização da amostragem

O período de amostragem decorreu entre Março de 2013 e Janeiro de 2014 e foi realizado conforme cronograma de actividades representado na Tabela 6.

**Tabela 6:** Cronograma de amostragem/actividades.

| Actividades           | Mar-13  | Abr-13  | Mai-13  | Jun-13  | Jul-13  | Ago-13  | Set-13  | Out-13  | Nov-13  | Dez-13  | Jan-14  |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                       | Semanas | Semanas | Semanas | Semanas | Semanas | Semanas | Semanas | Semanas | Semanas | Semanas | Semanas |
|                       | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 |
| t <sub>0</sub>        | 3       |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Instalação e arranque | 4       |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| t <sub>1</sub>        |         | 17      |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| t <sub>2</sub>        |         |         | 14      |         |         |         |         |         |         |         |         |
| t <sub>3</sub>        |         |         |         |         | 14      |         |         |         |         |         |         |
| t <sub>4</sub>        |         |         |         |         |         |         |         | 27      |         |         |         |
| t <sub>5</sub>        |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         | 12      |

<sup>(d)</sup> As amostras devem manter-se frescas e ao abrigo da luz solar, sem obrigatoriedade de refrigeração, aquando do seu transporte (Nota Técnica NT-SCE-02).

As colheitas de ar e as medições locais foram realizadas em diferentes momentos:

- $t_0$ : antes da instalação dos biorreactores (caracterização inicial);
- Instalação e arranque dos biorreactores;
- $t_1$ : 15 dias após  $t_0$ ;
- $t_2$ : 30 dias após  $t_1$ ;
- $t_3$ : 90 dias após  $t_2$ ;
- $t_4$ : 90 dias após  $t_3$ ;
- $t_5$ : 75 dias após  $t_4$ .

Uma vez que, a periodicidade de amostragem foi definida pelo fabricante dos biorreactores (U-Earth Biotechnologies s.r.l.), a investigadora não teve qualquer intervenção neste processo.

As diversas amostragens foram efectuadas sempre no mesmo dia da semana, ao Domingo. Esta escolha prendeu-se com o facto de, neste dia, a unidade de diálise não efectuar tratamentos.

Desta forma, as medições locais e as recolhas do ar interior não estiveram, directamente, sujeitas à interferência e respectivas oscilações de factores externos decorrentes do funcionamento da unidade de diálise (e.g. uso de produtos químicos aquando das desinfecções das máquinas de hemodiálise; uso de gases anestésicos; abertura/fecho de portas), os quais poderiam originar variações passíveis de se comportarem como *vieses* de confundimento.

De notar que, nos diferentes momentos de amostragem, o sistema de AVAC se manteve ligado, à semelhança das condições de funcionamento da unidade de diálise. O ambiente apresentou, aquando dos períodos de amostragem, uma ocupação de 3 pessoas, a investigadora e dois técnicos do LAIST.

### **3.4.2. Definição dos pontos de colheita**

Os pontos de colheita foram seleccionados de acordo com o guia técnico da APA<sup>[36]</sup> tendo em consideração os seguintes pressupostos:

- Arquitectura da unidade de diálise;
- Afastamento de pelo menos 1 a 2 m dos cantos das paredes, das janelas, dos equipamentos de purificação do ar, de divisórias e de outras superfícies verticais (e.g. armários);
- Não estar directamente debaixo ou em frente de difusores de ar, unidades de difusão, ventoinhas ou aquecedores;
- Possíveis movimentações de ar (e.g. portas, janelas, aparelhos de ar condicionado);

- Ser localizado a uma altura de  $1,5 \pm 0,5$  m acima do nível do solo<sup>[36]</sup>.

O número mínimo de pontos de colheita (Tabela 7) em cada área-piloto foi definido de acordo com o guia técnico da APA<sup>[36]</sup>, tendo como base a seguinte expressão, arredondada à unidade:

$$N_i = 0,15 \times \sqrt{A_i}$$

Onde:

$N_i$  = número de locais de colheita na zona  $i$ ;

$A_i$  = área da zona  $i$ , em  $m^2$ .


**Tabela 7:** Cálculo do número mínimo de pontos de colheita em cada área-piloto.

| Piso | Área-piloto | $A_i$     | $N_i$ |
|------|-------------|-----------|-------|
| 0    | DRA         | 211 $m^2$ | 2,18  |
| 0    | DRB         | 222 $m^2$ | 2,23  |
| 0    | DRC         | 60 $m^2$  | 1,16  |
| 0    | DRHBV       | 56 $m^2$  | 1,12  |

No sentido de otimizar a análise de resultados, foram definidos dois pontos de colheita em cada área-piloto, os quais são apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8:** Localização e codificação dos pontos de colheita.

| Piso | Área-piloto | Código  |
|------|-------------|---------|
| 0    | DRA         | DRA11   |
| 0    | DRA         | DRA22   |
| 0    | DRB         | DRB13   |
| 0    | DRB         | DRB26   |
| 0    | DRC         | DRC02   |
| 0    | DRC         | DRC06   |
| 0    | DRHBV       | DRHBV02 |
| 0    | DRHBV       | DRHBV05 |

Os pontos de colheita encontram-se representados nos Anexos 4, 5, 6 e 7 com o símbolo .

### 3.4.3. Selecção de parâmetros

A caracterização do ar interior da unidade de diálise, bem como o papel da tecnologia em estudo serão avaliados através da determinação dos seguintes parâmetros:

- Temperatura ( $^{\circ}C$ );
- Humidade relativa (%);
- Compostos orgânicos voláteis totais ( $\mu g/m^3$ );



- Formaldeído ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ );
- Monóxido de carbono ( $\text{mg}/\text{m}^3$ );
- Dióxido de carbono ( $\text{mg}/\text{m}^3$ );
- Ozono ( $\text{mg}/\text{m}^3$ );
- Partículas em suspensão -  $\text{PM}_{10}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ );
- Bactérias totais a  $36^\circ\text{C}$  ( $\text{UFC}/\text{m}^3$ );
- Fungos filamentosos e leveduriformes ( $\text{UFC}/\text{m}^3$ ).

A escolha destes parâmetros foi efectuada no início do ano de 2013, de acordo com a legislação então em vigor, Decreto-Lei 79/2006, de 4 de Abril e com base no Anexo II da Nota Técnica NT-SCE-02<sup>[93]</sup>.

Com a publicação do Decreto-Lei 118/2013, de 20 de Agosto e da Portaria n.º 353-A/2013, de 4 de Dezembro foram introduzidas alterações relativas à QAI, sendo uma delas a determinação de partículas em suspensão  $\text{PM}_{2,5}$ . No entanto, optou-se por não contemplar esta determinação neste estudo de investigação, uma vez que já se tinham realizado as amostragens  $t_0$ ,  $t_1$ ,  $t_2$  e  $t_3$ .

#### 3.4.4. Metodologia de amostragem

Atendendo ao período de realização da parte prática deste trabalho de investigação, Março de 2013 a Janeiro de 2014, tanto os métodos de monitorização (parâmetros físico-químicos) como os de amostragem (parâmetros microbiológicos) foram delineados com base nos Anexos III e IV da Nota Técnica NT-SCE-02<sup>(e)</sup>, respectivamente.

Na Tabela 9 encontram-se, quer os métodos, quer os equipamentos utilizados na determinação dos parâmetros a analisar neste estudo.

**Tabela 9:** Métodos e equipamentos utilizados na determinação dos diversos parâmetros.

| Parâmetros   | Temperatura (T)<br>Humidade relativa (HR)<br>Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )<br>Monóxido de carbono (CO)  | Compostos Orgânicos<br>Voláteis Totais (COVs)  | Formaldeído ( $\text{CH}_2\text{O}$ )   | Ozono ( $\text{O}_3$ )  | Partículas em<br>suspensão (fracção<br>$\text{PM}_{10}$ )   | Bactérias<br>Fungos  |
|--------------|--|--|---|---|---|--|
| Métodos      | Sonda  | Detector de Foto<br>ionização  | Electroquímico  | Electroquímico  | Dispersão óptica  | M.M. 9.6 (2011-05-30)  |
| Instrumentos | testo 435<br>(Testo AG)<br> | PHocHeck+®<br>(Ion Science)<br> | Formaldemeter™ htV<br>(PPM Technology)<br> | Series 200<br>(Aeroqual)<br> | DustTrak™ 8520<br>(TSI Inc.)<br> | MAS-100®<br>(Merck Millipore)<br> |

<sup>(e)</sup> Esta Nota Técnica estabeleceu a metodologia de auditorias à QAI e foi definida no n.º 3 do Artigo 12º do Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril (actualmente revogado, mas em vigor no período de realização da parte prática desta investigação).

- **Parâmetros físico-químicos**

A determinação dos parâmetros físico-químicos foi efectuada localmente, aquando da realização das colheitas para os ensaios laboratoriais (parâmetros microbiológicos). Foram realizadas medições de curta duração, de aproximadamente 15 minutos, com recurso a equipamentos de leitura directa, identificados na Tabela 9, os quais foram posicionados segundo os requisitos mencionados no ponto 3.4.2. e de acordo com o seguinte procedimento:

- i) Conexão do respectivo equipamento, aguardando alguns minutos (cerca de 15 minutos) até estabilização do mesmo;
- ii) Leitura e registo do valor indicado no equipamento;
- iii) Desligar o equipamento e repetir o procedimento.

- **Parâmetros microbiológicos (bactérias e fungos)**

Na determinação dos parâmetros microbiológicos procedeu-se à recolha de amostras de 0,5 m<sup>3</sup> de ar, utilizando o equipamento indicado na Tabela 9. O equipamento foi disposto em conformidade com os requisitos apresentados no ponto 3.4.2. e de acordo com o seguinte procedimento:

- i) Conexão do equipamento e selecção do volume de ar;
- ii) Desinfecção de mãos e respectivo equipamento com isopropanol;
- iii) Abertura da tampa do equipamento para colocação da placa de Petri com o meio de cultura semi-sólido (contendo agar) apropriado no interior do equipamento;
- iv) Encerramento da tampa do equipamento;
- v) Activação do equipamento de amostragem;
- vi) No final da amostragem, remoção da placa de Petri, procedendo à sua identificação e armazenamento em arca refrigerada de transporte;
- vii) Incubação em estufa, em período e temperatura indicados para cada microrganismo;
- viii) Contagem das UFC.

Na Tabela 10 encontram-se para cada microrganismo, os meios de cultura utilizados, a temperatura e tempo de incubação.

**Tabela 10:** Condições de incubação dos parâmetros microbiológicos.

| Microrganismo | Meio de cultura                | Temperatura de incubação (°C) | Tempo de incubação (dias) |
|---------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Bactérias     | <i>Tryptic Soy Agar</i> (TSA)  | 36                            | 2                         |
| Fungos        | <i>Malt Extract Agar</i> (MEA) | 27                            | 7                         |

### 3.5. Análise de dados

Finalizado o processo de amostragem e após validação dos resultados (recepção e análise dos boletins de análise) foi criada uma base de dados para lançamento dos resultados no *software* Microsoft Excel 2010. O recurso a este programa permitiu a elaboração de tabelas e gráficos.

Para comparar os valores de  $t_0$  com os de  $t_5$ , no sentido de avaliar o novo sistema de gestão da QAI (biorreactores), recorreu-se ao teste paramétrico *t*-Student para amostras emparelhadas. Os testes estatísticos foram realizados com o *software* SPSS Statistics (v.22, IBM SPSS, Chicago, IL).

A razão pela qual se optou por este tipo de abordagem é expressa pela tentativa em apresentar de forma clara os resultados obtidos, potenciando a interpretação dos mesmos.

### 3.6. Aspectos éticos

No pressuposto de que todas as informações obtidas serão, apenas e só, destinadas ao presente estudo de investigação, o mesmo foi desenvolvido com o consentimento e aceitação do grupo empresarial privado, especializado em terapias de substituição renal.

Não foi contratualizada ou estabelecida qualquer tipo de contrapartida, para a investigadora, orientadores e/ou instituições envolvidas neste estudo.

Foram, durante a sua realização, garantidos os aspectos éticos da investigação científica, nomeadamente o respeito pelo sigilo profissional e a protecção de dados relativos à unidade de diálise, colaboradores e doentes.

### 3.7. Cronograma

No sentido de planear e sistematizar as actividades inerentes à presente dissertação foi elaborado um cronograma de actividades (ver Anexo 8).



## CAPÍTULO IV

### APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos nas medições locais e amostragens do ar interior das áreas-piloto (salas de diálise).

Conforme referido anteriormente, com a realização do presente estudo pretendeu-se efectuar:

- A caracterização, pré e pós-instalação dos biorreactores, de alguns parâmetros da QAI de natureza física, química e microbiológica do ar interior;
- A avaliação do novo sistema de gestão da QAI, baseado na instalação de biorreactores para purificação do ar interior das salas de diálise.

Tal como indicado no ponto **3.4.2.** do Capítulo III, no sentido de otimizar a análise de resultados, foram definidos dois pontos de colheita em cada área-piloto. Desta forma, os valores apresentados para cada parâmetro, nos diferentes momentos de amostragem, representam a média aritmética dos valores obtidos nos dois pontos de colheita das salas de diálise.

A apresentação dos resultados obtidos é efectuada sob a forma de gráficos, por tipologia de parâmetros (físicos, químicos e microbiológicos):

- Numa primeira fase está representada a evolução dos valores médios obtidos em cada sala de diálise (DRA, DRB, DRC e DRHBV) ao longo dos diferentes momentos de amostragem ( $t_0$ ,  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$  e  $t_5$ );
- Numa segunda fase encontra-se representada a distribuição dos valores médios nos momentos de amostragem  $t_0$  e  $t_5$  (pré e pós-instalação dos biorreactores, respectivamente).

A análise e discussão dos resultados são efectuadas tendo em consideração os objectivos definidos neste trabalho de dissertação, onde:

- A caracterização dos parâmetros (físicos, químicos e microbiológicos) da QAI, antes ( $t_0$ ) e após ( $t_5$ ) instalação dos biorreactores, é efectuada analisando os valores médios obtidos nesses dois momentos de amostragem;
- A avaliação do papel dos biorreactores na QAI é realizada por comparação dos resultados médios prévios ( $t_0$ ) e posteriores ( $t_5$ ) à instalação dos biorreactores, recorrendo-se ao teste paramétrico *t*-Student para amostras emparelhadas.

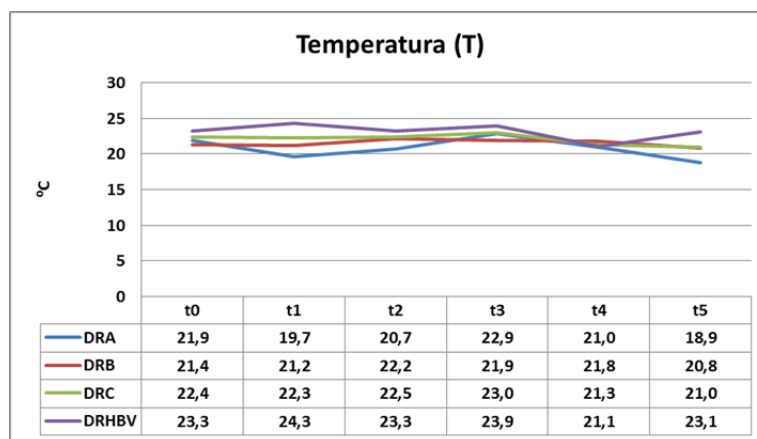
Nesta análise e discussão de resultados são usadas como referência a Portaria n.º 291/2012, de 24 de Setembro, a Portaria n.º 347/2013, de 28 de Novembro e a Portaria n.º 353-A/2013, de 4 de Dezembro.

#### 4.1. Parâmetros físicos

##### Temperatura (T)

Este parâmetro, à semelhança da humidade relativa, desempenha um papel importante, tanto no conforto térmico dos ocupantes, como no crescimento de microrganismos<sup>[36]</sup>.

O Gráfico 1 apresenta os valores médios de temperatura (em °C) registados nas áreas-piloto nos diferentes momentos de amostragem ( $t_0$ ,  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$  e  $t_5$ ).



**Gráfico 1:** Evolução dos valores médios de temperatura, °C.

De acordo com o Anexo II – Climatização, da Portaria n.º 347/2013, de 28 de Novembro, foram definidos valores limite de temperatura interna nas salas de diálise para as duas estações do ano que apresentam condições meteorológicas mais extremas: 25,0°C no Verão (valor máximo) e 22,0°C no Inverno (valor mínimo)<sup>[94]</sup>.

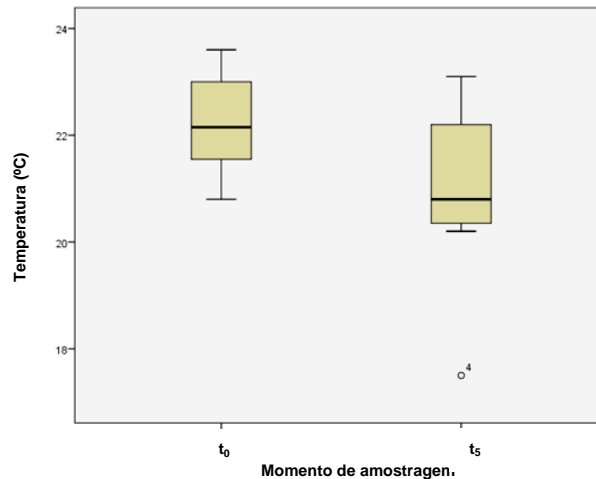
As leituras de temperatura obtidas em  $t_0$ ,  $t_1$ ,  $t_4$  e  $t_5$  foram realizadas no Inverno<sup>(f)</sup> (Março, Outubro e Janeiro, respectivamente). Cerca de 68,8% dos valores médios de temperatura, registados nestes momentos de amostragem, encontram-se abaixo do valor mínimo definido (22,0°C).

Em  $t_0$ , a temperatura média das salas DRA e DRB encontrava-se abaixo (21,9°C e 21,4°C, respectivamente) do valor mínimo definido (22°C) e nas salas DRC e DRHBV estava acima (22,4 e 23,3°C, respectivamente). No instante  $t_5$ , apenas a sala DRHBV apresentou um valor médio de temperatura (23,1°C) superior ao limite mínimo definido.

<sup>(f)</sup> Considerou-se Inverno, de Outubro a Março.

Os valores médios de temperatura das salas de diálise, registados em Abril e Julho ( $t_2$  e  $t_3$ , respectivamente), não ultrapassaram o valor máximo definido para o Verão<sup>(g)</sup> (25,0°C). De notar que, o valor médio de temperatura mais alto, registado nestes dois momentos de amostragem, foi obtido no momento de amostragem  $t_3$  na sala DRHBV (23,9°C).

No Gráfico 2 está representada a distribuição dos valores de temperatura (em °C) nos momentos de amostragem pré ( $t_0$ ) e pós ( $t_5$ ) instalação dos biorreactores.



**Gráfico 2:** Distribuição dos valores de temperatura (°C) nos momentos de amostragem  $t_0$  e  $t_5$ .

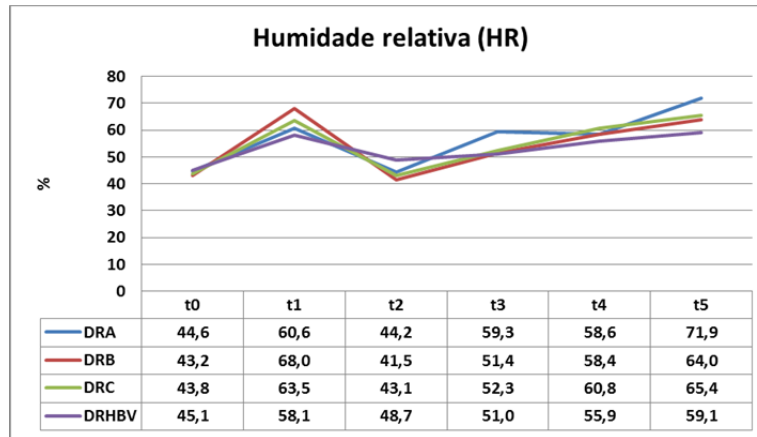
No instante  $t_0$  (pré-instalação dos biorreactores), o valor médio da temperatura foi de 22,23°C e no instante  $t_5$  (pós-instalação dos biorreactores), o valor médio da temperatura foi de 20,91°C (diferença de 1,313°C entre  $t_0$  e  $t_5$ ). As diferenças observadas entre os valores médios de temperatura (°C) nos dois momentos de amostragem não são estatisticamente significativas ( $p>0,05$ ). Ou seja, o funcionamento dos biorreactores aparenta não ter influência na temperatura interior das salas de diálise (ver Anexo 9).

De uma forma geral, comparando os valores médios de temperatura em  $t_0$  e  $t_5$ , bem como analisando a evolução deste parâmetro e, tendo em consideração que não se realizaram leituras de temperatura no exterior, não foi possível associar as variações de temperatura registadas no interior das salas de diálise com as variações térmicas decorrentes das estações do ano, nem verificar se essas variações internas observadas foram apenas devidas ao sistema de AVAC.

<sup>(g)</sup> Considerou-se Verão, de Abril a Setembro.

### **Humidade relativa (HR)**

A evolução dos valores médios de HR (em %) registados nas áreas-piloto nos diferentes momentos de amostragem ( $t_0$ ,  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$  e  $t_5$ ) encontra-se representada no Gráfico 3.



**Gráfico 3:** Evolução dos valores médios de humidade relativa, %.

A HR é um dos parâmetros que influencia o conforto térmico e o crescimento microbiano, a QAI, a durabilidade do edifício e dos seus materiais e o consumo de energia<sup>[36]</sup>.

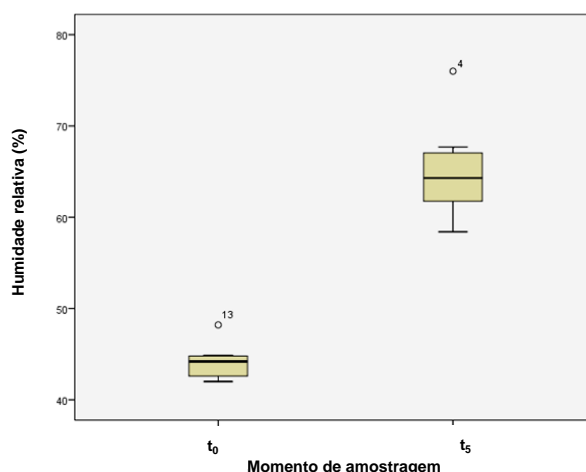
Os valores definidos para este parâmetro, em unidades privadas com actividades no âmbito da cirurgia de ambulatório, como é o caso da unidade de diálise seleccionada para este estudo, devem estar compreendidos entre 40 a 60%<sup>[50]</sup>.

Das leituras prévias à instalação dos biorreactores ( $t_0$ ) verificou-se que todas as salas de diálise apresentaram valores médios de HR em linha com o intervalo definido (40 a 60%) na Portaria n.º 291/2012, de 24 de Setembro.

Após instalação dos biorreactores observou-se um aumento generalizado de HR nas salas de diálise, apresentando, em  $t_5$ , as salas DRA, DRB e DRC valores médios de HR superiores ao valor máximo definido (60%). De notar que o valor médio de HR mais elevado foi de 71,9% na sala DRA.

No Gráfico 4 está representada a distribuição dos valores de HR, em %, nos momentos de amostragem  $t_0$  e  $t_5$  (pré e pós-instalação dos biorreactores, respectivamente).





**Gráfico 4:** Distribuição dos valores de humidade relativa (%) nos momentos de amostragem  $t_0$  e  $t_5$ .

Nas salas de diálise, no instante  $t_0$ , o valor médio de HR foi de 44,18% e no instante  $t_5$  foi de 65,08% (aumento de 20,90% entre  $t_0$  e  $t_5$ ). As diferenças observadas entre os valores médios de HR nos dois momentos de amostragem são estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) (ver Anexo 10).

Desta forma, verificou-se que os biorreactores poderão levar a um aumento dos valores de HR nas salas de diálise, tendo-se verificado um aumento percentual relativo da HR de 61,1% na sala DRA, 48,1% na sala DRB, 49,2% na sala DRC e de 31,0% na sala DRHBV.

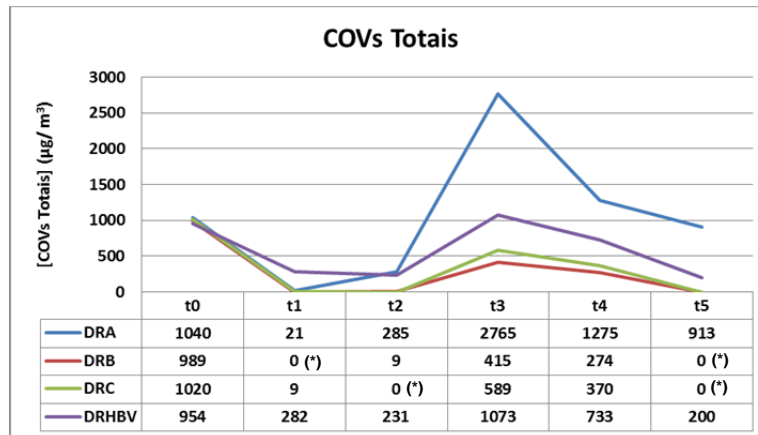
O excesso de humidade em qualquer tipo de material provoca o crescimento de microrganismos (e.g. fungos e bactérias, responsáveis pela emissão para o ar interior, de esporos, células, fragmentos e COVs). Pelo que, uma ventilação adequada dos espaços interiores é fundamental para o controlo deste parâmetro e prevenção da condensação<sup>[36]</sup>. De notar que este aumento de HR não foi acompanhado pelos resultados obtidos nos parâmetros microbiológicos evidenciados nos Gráficos 13 e 15).

## 4.2. Parâmetros químicos

### Compostos orgânicos voláteis totais (COVs Totais)

A presença de COVs Totais em espaços interiores está associada ao uso de detergentes e desinfetantes, gases anestésicos, computadores, materiais de construção e decoração, entre outros<sup>[21,36]</sup>.

No Gráfico 5 são apresentados os valores de concentração média de COVs Totais (em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) obtidos nas diferentes áreas-piloto ao longo do período de amostragem.



(\*) A leitura obtida foi inferior ao limite mínimo de detecção (<1,0 µg/m³).

**Gráfico 5:** Evolução da concentração média de compostos orgânicos voláteis totais, µg/m³.

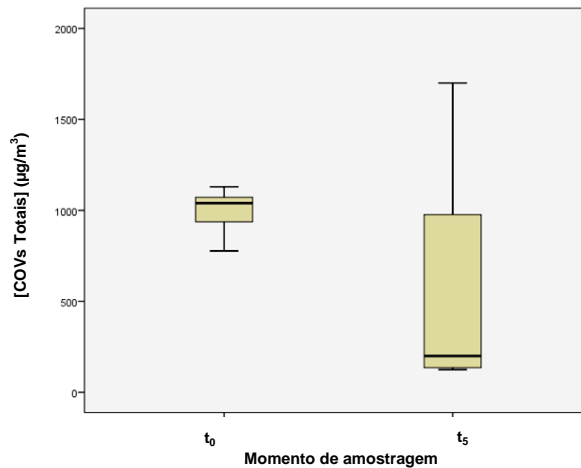
O limiar de protecção definido para este poluente em edifícios de comércio e serviços é de 600 µg/m³<sup>[46]</sup>.

A análise dos resultados evidenciou que a concentração média de COVs Totais registada no interior das salas de diálise em t<sub>0</sub> (pré-instalação dos biorreactores) se encontrava acima do limiar de protecção definido (600 µg/m³).

Em t<sub>5</sub> observou-se um decréscimo generalizado da concentração média deste poluente nas salas de diálise. As salas DRB, DRC e DRHBV apresentaram valores médios inferiores ao limiar de protecção definido (600 µg/m³). De notar que, apesar de ter ocorrido uma diminuição da concentração média na sala DRA, o valor obtido (912,5 µg/m³) foi superior ao limiar de protecção definido (600 µg/m³).

Da análise do Gráfico 3, destaca-se o pico observado em t<sub>3</sub> (14/07/2013). Este poderá advir dos trabalhos de higienização dos biorreactores que tiveram lugar cerca de uma semana antes (07/07/2013), os quais exigiram a paragem de funcionamento dos mesmos. Um trabalho realizado por Bonoli e Zanni<sup>[76]</sup>, em contexto industrial, utilizando a mesma tecnologia de purificação do ar (biorreactores) obteve o mesmo pico de leitura de COVs Totais após higienização dos biorreactores.

A distribuição dos valores de COVs Totais (µg/m³) nas salas de diálise nos momentos de amostragem t<sub>0</sub> e t<sub>5</sub> (pré e pós-instalação dos biorreactores, respectivamente) está representada no Gráfico 6.



**Gráfico 6:** Distribuição dos valores de COVs Totais ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nos momentos de amostragem  $t_0$  e  $t_5$ .

No instante  $t_0$ , o valor médio de COVs Totais foi de  $996,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e no instante  $t_5$  o valor médio foi de  $556,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (diferença de  $440,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  entre  $t_0$  e  $t_5$ )<sup>(h)</sup>. As diferenças observadas entre os valores médios de COVs Totais dos dois grupos ( $t_0$  e  $t_5$ ) não são estatisticamente significativas ( $p > 0,05$ ) (ver Anexo 11).

Apesar das diferenças encontradas não serem estatisticamente significativas<sup>(i)</sup> foi observada uma importante redução do valor médio de COVs Totais. Assim, os biorreactores poderão originar uma redução da concentração média de COVs Totais nas salas de diálise, uma vez que se observou uma redução percentual relativa de 12,3% na sala DRA e de 79,1% na sala DRHBV.

A concentração de COVs Totais em ambientes interiores está directamente relacionada com a presença de fontes de emissão e condições de ventilação<sup>[9]</sup>.

De acordo com Martínez e Callejo<sup>[21]</sup>, a concentração de COVs no ar interior pode ser até dez vezes superior à encontrada no ar exterior. Para fazer face a esta situação Proença e Cano<sup>[95]</sup> propõem duas estratégias: promover a ventilação dos espaços e controlar as fontes de emissão.

Em suma, a elevada concentração deste poluente no ar interior nas salas de diálise poderá resultar do uso frequente de desinfetantes devido à elevada prática médica nestes locais, evidenciando, quer a existência de fontes emissoras, quer eventuais problemas de renovação de ar nas salas de diálise.

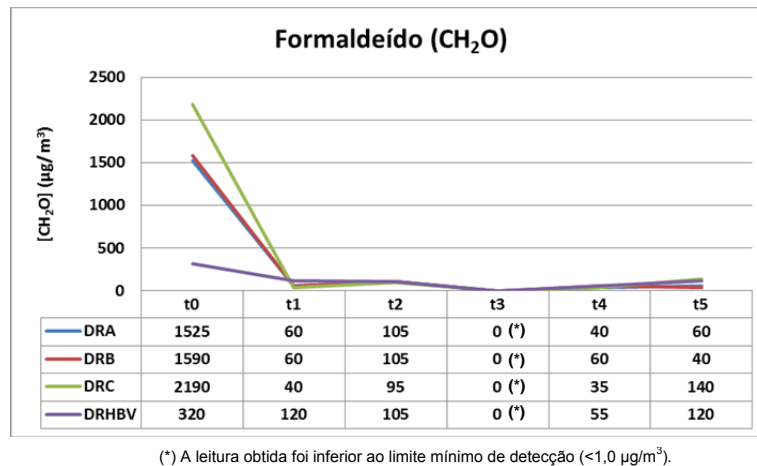
<sup>(h)</sup> Na análise estatística, como em  $t_5$  as salas DRB e DRC apresentaram leituras de COVs Totais inferiores ao limite mínimo de detecção do equipamento ( $< 1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), foram apenas considerados os resultados das salas DRA e DRHBV.

<sup>(i)</sup> Apenas foram contemplados na análise estatística os dados das salas de diálise DRA e DRHBV. Este facto pode ter influenciado os resultados estatísticos.

### **Formaldeído (CH<sub>2</sub>O)**

Em ambientes interiores, os materiais de construção e decoração e os desinfectantes, entre outros, constituem as principais fontes de emissão de CH<sub>2</sub>O<sup>[21, 35,49]</sup>.

O Gráfico 7 representa a evolução da concentração média (em µg/m<sup>3</sup>) de CH<sub>2</sub>O no interior das salas de diálise nos diferentes momentos de amostragem.



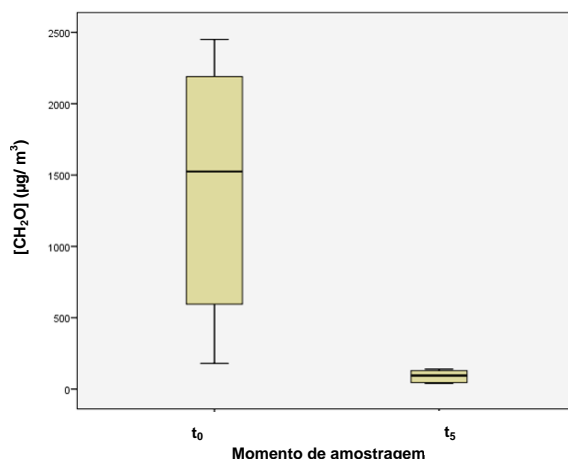
**Gráfico 7:** Evolução da concentração média de formaldeído, µg/m<sup>3</sup>.

O limiar de protecção definido para este poluente em edifícios de comércio e serviços é de 100 µg/m<sup>3</sup><sup>[46]</sup>.

Da análise do Gráfico 7, verificou-se que as concentrações médias mais elevadas deste poluente foram obtidas no período pré-instalação dos biorreactores (t<sub>0</sub>) e, em todas as salas de diálise, foram registados valores acima do limiar de protecção definido (100 µg/m<sup>3</sup>). De notar que, o valor de concentração média mais elevado foi de 2190 µg/m<sup>3</sup> na sala DRC.

Por forma a caracterizar este parâmetro após instalação dos biorreactores e, tendo em consideração os resultados obtidos em t<sub>5</sub>, constatou-se uma diminuição generalizada da concentração média de CH<sub>2</sub>O nas salas de diálise. Nas salas DRA e DRB a concentração média (60 µg/m<sup>3</sup> e 40 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente) encontrava-se abaixo do limiar de protecção. Nas salas DRC e DRHBV, apesar de também ter ocorrido uma redução da concentração média deste poluente no ar interior, a concentração média (140 µg/m<sup>3</sup> e 120 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente) estava acima do limiar de protecção definido (100 µg/m<sup>3</sup>).

No Gráfico 8 está representada a distribuição dos valores de CH<sub>2</sub>O nos momentos de amostragem t<sub>0</sub> e t<sub>5</sub>, pré e pós-instalação dos biorreactores, respectivamente.



**Gráfico 8:** Distribuição dos valores de formaldeído ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nos momentos de amostragem  $t_0$  e  $t_5$ .

No instante  $t_0$ , o valor médio de  $\text{CH}_2\text{O}$  foi de  $1406,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e no instante  $t_5$  foi de  $90,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (diferença de  $1316,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  entre  $t_0$  e  $t_5$ ). As diferenças observadas entre os valores médios de  $\text{CH}_2\text{O}$  dos dois grupos ( $t_0$  e  $t_5$ ) são estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) (ver Anexo 12).

Globalmente, os biorreactores poderão ter contribuído para a diminuição da concentração média de  $\text{CH}_2\text{O}$  no ar interior, tendo sido observada uma redução percentual relativa de 96,1% na sala DRA, 97,5% na sala DRB, 93,6% na sala DRC e de 62,5% na sala DRHBV.

À semelhança da análise do parâmetro COVs Totais e, sendo o  $\text{CH}_2\text{O}$  um COV que apresenta as mesmas fontes de emissão, estas concentrações médias elevadas poderão resultar do uso frequente de desinfetantes devido à elevada prática médica nestas áreas, bem como de eventuais problemas de renovação do ar nas salas de diálise.

### **Monóxido de carbono (CO)**

Em ambientes interiores, a presença de CO deve-se ao fumo de tabaco, queima de combustíveis fósseis (e.g. petróleo, carvão, madeira, gás) e às emissões de veículos (e.g. garagens, provenientes do ar exterior)<sup>[9,36]</sup>.

O limiar de protecção definido, em edifícios de comércio e serviços, para este poluente é de  $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ <sup>[46]</sup>.

As determinações locais da concentração média de CO foram efectuadas apenas nos momentos de amostragem  $t_0$ ,  $t_1$  e  $t_2$ , as quais apresentaram valores inferiores ao limite mínimo de detecção do equipamento ( $< 1,0 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), não tendo sido observadas oscilações na concentração de CO nas salas de diálise antes ( $t_0$ ) e após ( $t_1$  e  $t_2$ ) instalação dos biorreactores. Desta forma, verificou-se a ausência de fontes emissoras

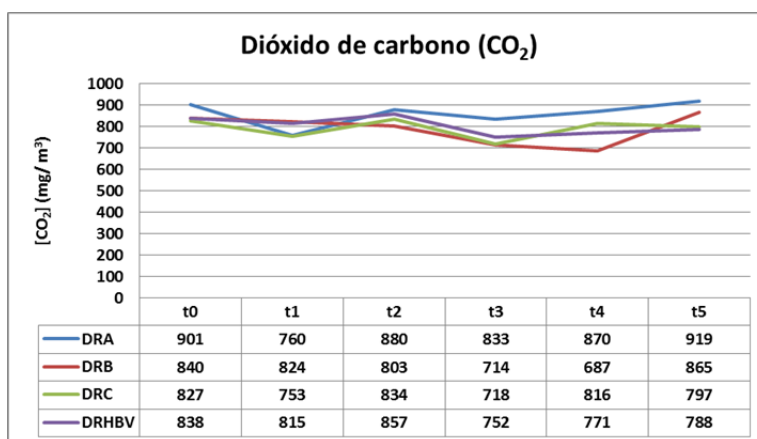
de CO nas salas de diálise, não constituindo o funcionamento dos biorreactores, *per si*, uma fonte de emissão.

Assim, foi decidido, pelo grupo empresarial privado, suspender as medições deste poluente nas salas de diálise, após o momento de amostragem  $t_2$ .

### **Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

A presença de CO<sub>2</sub> em ambientes interiores deve-se, maioritariamente, à presença humana (respiração) e à queima de combustíveis fósseis (e.g. petróleo, carvão, madeira, gás)<sup>[36]</sup>.

A evolução, ao longo do período de amostragem, da concentração média de CO<sub>2</sub> (em mg/m<sup>3</sup>) no interior das salas de diálise encontra-se representada no Gráfico 9.



**Gráfico 9:** Evolução da concentração média de dióxido de carbono, mg/m<sup>3</sup>.

O limiar de protecção definido para este poluente, em edifícios de comércio e serviços, é de 2250 mg/m<sup>3</sup><sup>[46]</sup>.

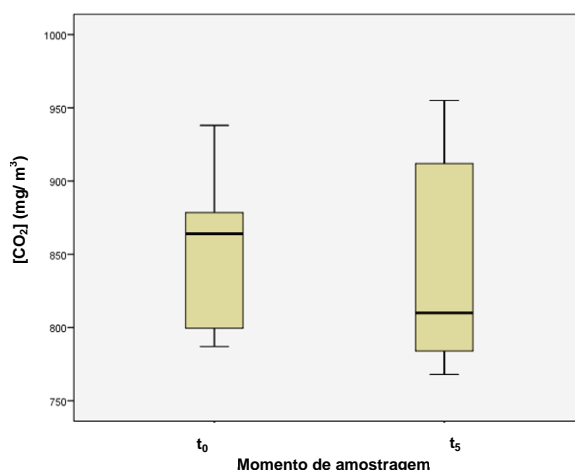
Da análise dos resultados verificou-se que, em todos os momentos de amostragem, a concentração média de CO<sub>2</sub> presente no ar interior foi inferior ao limiar de protecção definido (2250 mg/m<sup>3</sup>). De notar que, estes resultados foram obtidos para uma taxa de ocupação de 3 pessoas em cada sala de diálise.

O CO<sub>2</sub> é considerado um indicador da QAI, concentrações elevadas deste poluente (acima dos 1800 mg/m<sup>3</sup>) são consequência de uma ventilação deficiente (não remoção deste e, possivelmente, de outros poluentes, pelos sistemas de AVAC) ou de excesso de ocupação<sup>[36]</sup>.

Pela análise dos dados obtidos no instante  $t_0$  verificou-se que a concentração média de CO<sub>2</sub> era inferior a 1800 mg/m<sup>3</sup> em todas as salas de diálise e, que neste mesmo instante ( $t_0$ ), foram obtidos valores superiores ao limiar de protecção para outros poluentes do ar interior, nomeadamente, COVs Totais e CH<sub>2</sub>O.

Assim, pôde-se constatar, em linha com um estudo de Ginja et al.<sup>[96]</sup>, que a utilização da concentração de CO<sub>2</sub> como parâmetro base da avaliação da QAI poderá não reflectir a existência de fontes de contaminação responsáveis por concentrações elevadas de outros poluentes no ar interior.

A distribuição dos valores de CO<sub>2</sub> (mg/m<sup>3</sup>) nas salas de diálise nos momentos de amostragem t<sub>0</sub> e t<sub>5</sub> (pré e pós-instalação dos biorreactores, respectivamente) está representada no Gráfico 10.



**Gráfico 10:** Distribuição dos valores de dióxido de carbono (mg/m<sup>3</sup>) nos momentos de amostragem t<sub>0</sub> e t<sub>5</sub>.

No instante t<sub>0</sub>, o valor médio de CO<sub>2</sub> foi de 851,13 mg/m<sup>3</sup> e no instante t<sub>5</sub> foi de 841,88 mg/m<sup>3</sup> (diferença de 9,250 mg/m<sup>3</sup> entre t<sub>0</sub> e t<sub>5</sub>). As diferenças observadas entre os valores médios de CO<sub>2</sub> dos dois grupos (t<sub>0</sub> e t<sub>5</sub>) não são estatisticamente significativas ( $p > 0,05$ ) (ver Anexo 13).

Uma vez que não se observaram alterações significativas ao longo do período de amostragem, foi possível constatar, por um lado, que a actividade microbiana no interior dos biorreactores não contribuiu para um incremento da concentração média de CO<sub>2</sub>, por outro, que o funcionamento dos biorreactores aparenta não ter influência na concentração deste poluente nas salas de diálise.

### **Ozono (O<sub>3</sub>)**

As medições locais da concentração média deste parâmetro, à semelhança do CO, foram efectuadas apenas nos períodos de amostragem t<sub>0</sub> (pré-instalação dos biorreactores), t<sub>1</sub> e t<sub>2</sub> (pós-instalação dos biorreactores), as quais apresentaram valores inferiores ao limite mínimo de detecção do equipamento (<0,001 mg/m<sup>3</sup>).

As fontes emissoras de O<sub>3</sub>, em ambientes interiores, são, entre outras: motores eléctricos, purificadores de ar electrostáticos, ar exterior<sup>[21]</sup>.

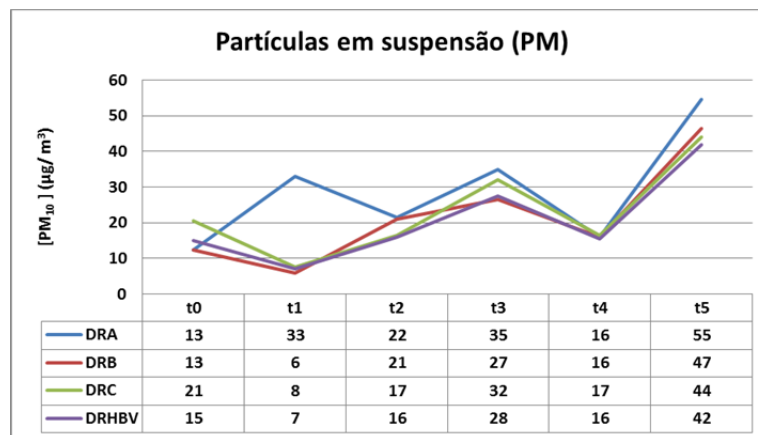
De acordo com os resultados obtidos ( $<0,001 \text{ mg/m}^3$ ) verificou-se, por um lado a ausência de fontes emissoras de  $\text{O}_3$  nas salas de diálise, não constituindo o funcionamento dos biorreactores, *per si*, uma fonte de emissão deste poluente. Por outro lado, não se observaram oscilações na concentração de  $\text{O}_3$  nas salas de diálise, antes ( $t_0$ ) e após ( $t_1$  e  $t_2$ ) a instalação dos biorreactores.

Perante estes factos, foi decidido, pelo grupo empresarial privado, suspender as medições deste poluente nas salas de diálise, após o momento de amostragem  $t_2$ .

### **Partículas em suspensão (PM)**

Em ambientes interiores, as PM podem infiltrar-se no interior de edifícios pelos sistemas de AVAC ou através de ventilação natural. A sua presença nestes espaços deve-se ainda a fontes de emissão, como por exemplo, os materiais de construção e decoração (e.g. carpetes mobiliário, materiais de isolamento), fumo de tabaco e actividades desenvolvidas pelos ocupantes<sup>[21,36]</sup>.

Neste trabalho de investigação foi apenas realizada a determinação de  $\text{PM}_{10}$ , cuja evolução da concentração média (em  $\mu\text{g/m}^3$ ) no interior das salas de diálise ao longo dos diferentes momentos de amostragem se encontra representada no Gráfico 11.



**Gráfico 11:** Evolução da concentração média de partículas em suspensão,  $\mu\text{g/m}^3$ .

O limiar de protecção definido, em edifícios de comércio e serviços, é de  $50 \mu\text{g/m}^3$  para este poluente<sup>[46]</sup>.

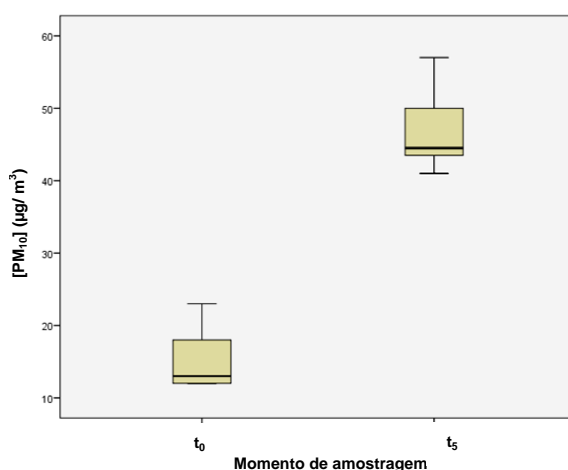
A concentração média de  $\text{PM}_{10}$  no interior das salas de diálise, antes da instalação dos biorreactores ( $t_0$ ), encontrava-se abaixo do limiar de protecção definido ( $50 \mu\text{g/m}^3$ ).

Dos resultados obtidos em  $t_5$  (pós-instalação dos biorreactores) constatou-se um aumento generalizado da concentração média de  $\text{PM}_{10}$  nas salas de diálise. De notar que, na sala DRA a concentração média registada ( $54,5 \mu\text{g/m}^3$ ) foi superior ao limiar de protecção definido ( $50 \mu\text{g/m}^3$ ).



À semelhança do sucedido na análise dos COVs Totais (Gráfico 5) e em linha com o estudo de Bonoli e Zanni<sup>[76]</sup>, verificou-se um pico de leitura de  $PM_{10}$  no instante  $t_3$  (14/07/2013), após higienização dos biorreactores (07/07/2013), cujos trabalhos exigiram a paragem de funcionamento dos mesmos.

No Gráfico 12 está representada a distribuição dos valores de  $PM_{10}$  ( $\mu g/m^3$ ) nos instantes  $t_0$  e  $t_5$  (pré e pós-instalação dos biorreactores, respectivamente).



**Gráfico 12:** Distribuição dos valores de partículas em suspensão ( $\mu g/m^3$ ) nos momentos de amostragem  $t_0$  e  $t_5$ .

No instante  $t_0$ , o valor médio de  $PM_{10}$  foi de  $15,13 \mu g/m^3$  e no instante  $t_5$  foi de  $46,75 \mu g/m^3$  (diferença de  $31,625 \mu g/m^3$  entre  $t_0$  e  $t_5$ ). As diferenças observadas entre os valores médios de  $PM_{10}$  dos dois grupos ( $t_0$  e  $t_5$ ) são estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) (ver Anexo 14).

Desta forma, verificou-se que os biorreactores poderão incrementar a concentração média de  $PM_{10}$ , tendo-se verificado um aumento percentual relativo de 336,0% na sala DRA, 272,0% na sala DRB, 114,6% na sala DRC e de 180,0% na sala DRHBV. Este fenómeno poderá ser uma consequência do funcionamento das ventoinhas dos biorreactores, o qual poderá levar ao aumento da circulação do ar interior e, consequentemente, à suspensão de material depositado nas diversas superfícies (e.g. mobiliário, solo) das salas de diálise.

O trabalho de Bonoli e Zanni<sup>[76]</sup>, em contexto industrial, utilizando a mesma tecnologia de purificação do ar (biorreactores) demonstrou, igualmente, uma grande oscilação na concentração de PM, a qual poderá estar fortemente relacionada com as actividades desenvolvidas nas áreas em estudo.

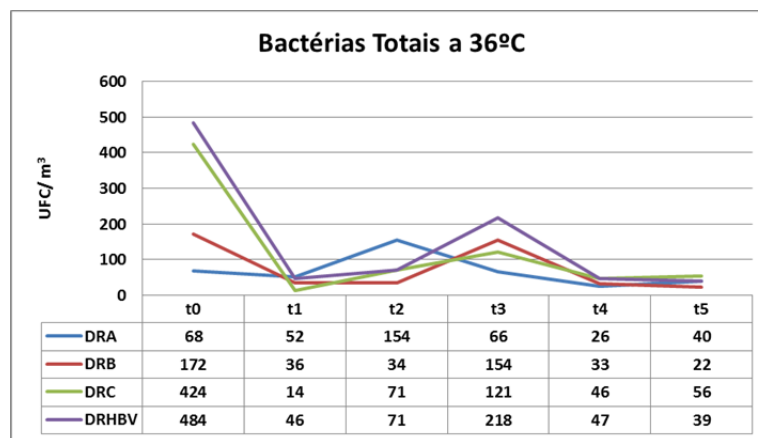
Segundo Massey et al.<sup>[97]</sup>, as condições meteorológicas influenciam a concentração e a distribuição das  $PM_{10}$ . No entanto, esta relação não foi observada, uma vez que, não foram efectuadas leituras de  $PM_{10}$  no exterior.

### 4.3. Parâmetros microbiológicos

#### Bactérias

Em ambientes interiores, o desenvolvimento de agentes biológicos é atribuído à humidade e à ventilação deficiente. De notar que, o excesso de humidade em qualquer tipo de material provoca o crescimento de microrganismos, tais como bactérias e fungos, responsáveis pela emissão de esporos, células, fragmentos e COVs<sup>[36]</sup>.

A evolução, ao longo do período de amostragem, da concentração média de bactérias (em UFC/m<sup>3</sup>) encontra-se representada no Gráfico 13.



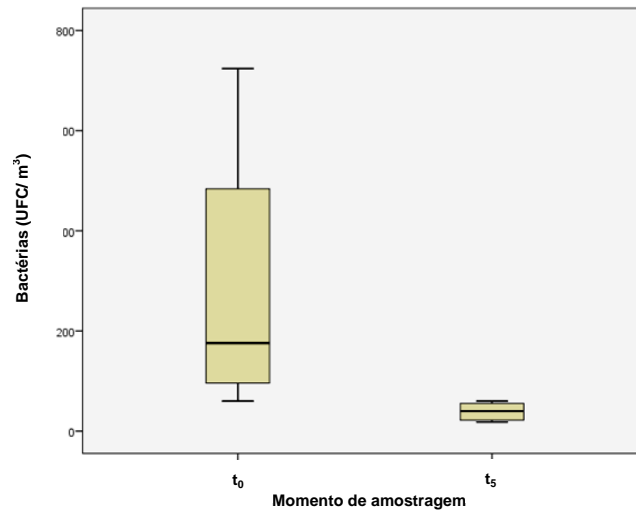
**Gráfico 13:** Evolução da concentração média de bactérias, UFC/m<sup>3</sup>.

As condições de referência, em edifícios de comércio e serviços, para as bactérias estabelecem que a sua concentração no interior deve ser inferior à do exterior, acrescida de 350 UFC/m<sup>3</sup><sup>[46]</sup>.

Da análise do Gráfico 13 verificou-se que as concentrações médias mais elevadas deste poluente ocorrem no período pré-instalação dos biorreactores (t<sub>0</sub>) em todas as salas de diálise.

Por forma a caracterizar este parâmetro após instalação dos biorreactores e, tendo em consideração os resultados obtidos em t<sub>5</sub>, constatou-se uma diminuição generalizada da concentração média de bactérias nas salas de diálise.

No Gráfico 14 está representada a distribuição do número de bactérias (em UFC/m<sup>3</sup>) nos momentos de amostragem t<sub>0</sub> e t<sub>5</sub>, pré e pós-instalação dos biorreactores, respectivamente.



**Gráfico 14:** Distribuição do número de bactérias (UFC/m<sup>3</sup>) nos momentos de amostragem t<sub>0</sub> e t<sub>5</sub>.

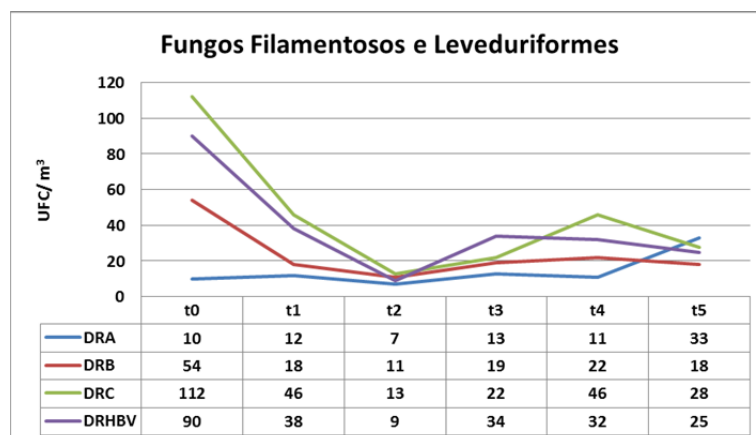
No instante t<sub>0</sub>, o valor médio do número de bactérias foi de 287 UFC/m<sup>3</sup> e no instante t<sub>5</sub> foi de 39,12 UFC/m<sup>3</sup> (diferença de 247,875 UFC/m<sup>3</sup> entre t<sub>0</sub> e t<sub>5</sub>). As diferenças observadas entre os valores médios do número de bactérias dos dois grupos (t<sub>0</sub> e t<sub>5</sub>) são estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) (ver Anexo 15).

Os biorreactores poderão ter contribuído para a diminuição do número médio de bactérias no ar interior, tendo-se verificado uma redução percentual relativa de 41,2% na sala DRA, 87,2% na sala DRB, 86,9% na sala DRC e de 91,9% na sala DRHBV.

## Fungos

À semelhança das bactérias, em ambientes interiores, o desenvolvimento de fungos é atribuído à humidade e à ventilação deficiente, levando à emissão para o ar interior, de esporos, células, fragmentos e COVs<sup>[36]</sup>.

No Gráfico 15 encontra-se a evolução, ao longo do período de amostragem, da concentração média de fungos (em UFCm<sup>3</sup>) no interior das salas de diálise.



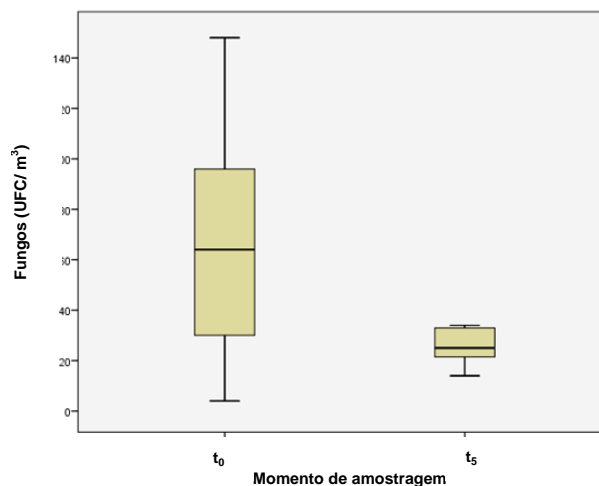
**Gráfico 15:** Evolução da concentração média de fungos, UFC/m<sup>3</sup>.

Para edifícios de comércio e serviços foram definidas condições de referência que estabelecem que a concentração de fungos deve ser inferior à detectada no exterior<sup>[46]</sup>.

Os resultados expressos no Gráfico 15 mostram que as concentrações médias mais elevadas deste poluente ocorreram no período pré-instalação dos biorreactores ( $t_0$ ) em todas as salas de diálise, com excepção da sala DRA (10 UFC/m<sup>3</sup> em  $t_0$  e 33 UFC/m<sup>3</sup> em  $t_5$ ).

Após instalação dos biorreactores ( $t_5$ ), constatou-se uma diminuição generalizada da concentração média de fungos nas salas de diálise, à excepção da sala DRA.

No Gráfico 16 está representada a distribuição do número de fungos (em UFC/m<sup>3</sup>) nos momentos de amostragem  $t_0$  e  $t_5$ , pré e pós-instalação dos biorreactores, respectivamente.



**Gráfico 16:** Distribuição do número de fungos (UFC/m<sup>3</sup>) nos momentos de amostragem  $t_0$  e  $t_5$ .

No instante  $t_0$ , o valor médio do número de fungos foi de 66,50 UFC/m<sup>3</sup> e no instante  $t_5$  foi de 25,88 UFC/m<sup>3</sup> (diferença de 40,625 UFC/m<sup>3</sup> entre  $t_0$  e  $t_5$ ). As diferenças observadas entre os valores médios do número de fungos nos dois grupos ( $t_0$  e  $t_5$ ) não são estatisticamente significativas ( $p > 0,05$ ). No entanto, o  $p$ -value é muito próximo de 0,05 ( $t(7) = 2.229$ ;  $p = 0,061$ ). Se considerarmos um teste unilateral teremos  $p = 0,0305$ , pelo que o número médio de fungos no momento  $t_0$  é superior ao registado no momento  $t_5$  (ver Anexo 16).

Em suma, verificou-se que, à excepção da sala DRA, os biorreactores poderão ter contribuído para a redução dos valores médios do número de fungos nas salas de diálise, tendo sido observada uma redução percentual relativa de 66,7% na sala DRB, de 75,4% na sala DRC e de 72,2% na sala DRHBV.

#### 4.4. Síntese dos resultados

Este estudo teve como principal objectivo avaliar o novo sistema de gestão da QAI implementado na unidade de diálise, através da caracterização do ar interior antes e após instalação dos biorreactores. Os resultados obtidos sugerem que:

- O funcionamento dos biorreactores aparenta não ter influência na temperatura interior das salas de diálise ( $p>0,05$ );
- Os biorreactores poderão conduzir a um aumento da HR ( $p<0,05$ ), tendo-se verificado um aumento percentual relativo de 61,1% na sala DRA, 48,1% na sala DRB, 49,2% na sala DRC e de 31,0% na sala DRHBV;
- Apesar das diferenças encontradas não serem estatisticamente significativas ( $p>0,05$ ), ocorreu uma redução da concentração média de COVs Totais (redução percentual relativa de 12,3% na sala DRA e de 79,1% na sala DRHBV), pelo que, os biorreactores poderão originar uma redução da concentração deste poluente;
- Os biorreactores poderão ter contribuído para a diminuição da concentração média de  $\text{CH}_2\text{O}$  ( $p<0,05$ ), tendo-se verificado uma redução percentual relativa de 96,1% na sala DRA, 97,5% na sala DRB, 93,6% na sala DRC e de 62,5% na sala DRHBV;
- O funcionamento dos biorreactores aparenta não ter influência na concentração de  $\text{CO}_2$  ( $p>0,05$ );
- Os biorreactores poderão incrementar a concentração média de  $\text{PM}_{10}$  ( $p<0,05$ ), tendo-se observado um aumento percentual relativo de 336,0% na sala DRA, 272,0% na sala DRB, 114,6% na sala DRC e de 180,0% na sala DRHBV;
- A nível bacteriológico, os biorreactores poderão ter contribuído para a diminuição do número médio de bactérias ( $p<0,05$ ), constatando-se uma redução percentual relativa de 41,2% na sala DRA, 87,2% na sala DRB, 86,9% na sala DRC e de 91,9% na sala DRHBV;
- Embora a diferença estatística não seja significativa ( $p>0,05$ ), verificou-se após instalação dos biorreactores, à excepção da sala DRA, uma redução dos valores médios do número de fungos, tendo ocorrido uma redução percentual relativa de 66,7% na sala DRB, de 75,4% na sala DRC e de 72,2% na sala DRHBV.

#### **4.5. Limitações do presente estudo**

O presente estudo foi projectado para avaliar um novo sistema de gestão da QAI numa unidade de diálise, através da instalação de purificadores do ar interior (biorreactores), tendo sido efectuadas medições (pré e pós-instalação) de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos no ar interior de salas de diálise, onde são realizadas várias actividades inerentes à prestação de serviços de saúde.

Neste estudo de investigação foram identificadas as seguintes limitações:

- Pequena dimensão da amostra analisada (quatro salas de diálise);
- Não foram contempladas medições e colheitas do ar exterior, não sendo possível comparar a QAI com a do ar exterior;
- Foram efectuadas medições pontuais, utilizando aparelhos de leitura directa e não medições contínuas com recurso a analisadores de medição em tempo real. Desta forma, acontecimentos pontuais aquando das medições poderão influenciar os resultados obtidos;
- Da pesquisa bibliográfica efectuada não foram encontrados outros trabalhos de investigação no âmbito específico da presente dissertação, dificultando a validação dos resultados obtidos por comparação com outras realidades;
- O presente estudo foi realizado em ambiente real de trabalho, sendo difícil identificar e controlar possíveis variáveis de confundimento (*vieses*).

## CAPÍTULO V

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A gestão da QAI em unidades de saúde é complexa e constitui uma parte crítica dos protocolos de gestão ambiental, dado que a presença de determinados poluentes no ar interior, independentemente da sua natureza, acarreta potenciais riscos para a saúde dos ocupantes.

Os avanços técnico-científicos nesta área traduzem-se na oferta de soluções tecnológicas destinadas à prevenção e controlo da poluição do ar interior, contribuindo para a redução de potenciais efeitos adversos na saúde dos ocupantes.

Este estudo pretendeu contribuir para o aumento do conhecimento técnico-científico no âmbito da gestão da QAI em unidades de saúde, nomeadamente, no contributo que o recurso a sistemas tecnológicos de purificação do ar interior poderá apresentar a nível da QAI.

Os dados compilados no presente trabalho de investigação com enfoque na QAI de uma unidade de diálise, através da aplicação de um novo sistema de gestão da QAI, biorreactores, permitiram obter as seguintes conclusões:

- (I) Apesar da importância demonstrada da QAI em serviços de saúde, não foi ainda definido um padrão específico de monitorização da QAI em ambientes hospitalares e outras unidades de saúde. Pelo que, essa monitorização é efectuada com base nos valores definidos na Portaria n.º 353-A/2013, de 4 de Dezembro para edifícios de comércio e serviços, onde se incluem as unidades de saúde.
- (II) A concentração média de poluentes do ar interior na unidade de diálise caracterizou-se (no instante  $t_0$ ) por valores médios inferiores aos limiares de protecção definidos, à excepção dos parâmetros COVs Totais e  $\text{CH}_2\text{O}$ . A elevada concentração destes poluentes químicos está associada, quer ao uso frequente de desinfectantes devido à elevada prática médica nas salas de diálise, quer a possíveis problemas de renovação de ar nas salas de diálise.
- (III) Após instalação dos biorreactores ( $t_5$ ), ocorreu, por um lado uma diminuição da concentração média de COVs Totais,  $\text{CH}_2\text{O}$ , bactérias e fungos, por outro, um aumento da HR e da concentração média de  $\text{PM}_{10}$  no ar interior. O

funcionamento dos biorreactores aparenta não ter influência na temperatura e na concentração média de CO<sub>2</sub> nas salas de diálise.

- (IV) Os restantes poluentes avaliados, CO e O<sub>3</sub>, apresentaram valores inferiores ao limite mínimo de detecção dos equipamentos, constatando-se ausência de fontes emissoras destes poluentes nas salas de diálise.
- (V) A concentração de CO<sub>2</sub> como indicador da QAI deve ser utilizada com a devida precaução, uma vez que poderá não reflectir a existência de fontes de contaminação responsáveis por concentrações elevadas de outros poluentes no ar interior.
- (VI) Perante taxas de redução percentual na ordem dos 90% para CH<sub>2</sub>O, de 80% para bactérias e de 70% para fungos, o novo sistema de gestão da QAI poderá ser considerado como uma potencial solução tecnológica para a melhoria da QAI, funcionando de forma complementar com os sistemas de AVAC existentes, no sentido de reduzir os níveis de poluentes do ar interior da unidade de diálise.
- (VII) A par da evolução do conhecimento sobre aplicações tecnológicas surge a necessidade de aferir, aperfeiçoar e avaliar se a adopção das mesmas consiste na solução que melhor se adequa à realidade.

Face aos resultados obtidos no presente trabalho e tendo em consideração a revisão bibliográfica sobre o tema em estudo, pretende-se enumerar algumas sugestões e/ou recomendações gerais, bem como perspectivas futuras.

Como sugestões gerais, será importante efectuar uma regular monitorização da QAI, por forma a identificar eventuais problemas e obter informações para agir em conformidade; aumentar a renovação de ar das salas de diálise para diluir os poluentes do ar interior até níveis aceitáveis, tendo em consideração a eficiência energética; implementar acções de sensibilização para profissionais de saúde com enfoque nas melhores práticas a adoptar por forma a melhorar a QAI.

Como perspectivas futuras, seria importante dar continuidade a este estudo, de forma a efectuar uma análise custo-benefício deste sistema complementar de gestão da QAI e alargar a amostra, implementando este sistema de gestão da QAI em outras unidades de saúde.



## BIBLIOGRAFIA

1. Campos L, Saturno P, Carneiro AV. Plano Nacional de Saúde 2011-2016: a qualidade dos cuidados e dos serviços. Lisboa: CEMBE. Faculdade de Medicina da Universidade de Lisboa; 2010.
2. Agência Portuguesa do Ambiente. Procedimentos regionais de informação e alerta no âmbito da qualidade do ar: relatório de ambiente e saúde. Amadora: Agência Portuguesa do Ambiente; 2010.
3. European Environment Agency. Environment and human health. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2013. (Report; 5/2015).
4. World Health Organization. Ambient (outdoor) air quality and health. [Internet]. Geneva: WHO; 2014. (Fact Sheet; 313). [Consult. 10 Fev. 2016]. Disponível em <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>.
5. Héroux ME, Anderson HR, Atkinson R, Brunekreef B, Cohen A, Forastiere F, et al. Quantifying the health impacts of ambient air pollutants: recommendations of a WHO/Europe project. *Int J Public Health*. 2015; 60(5):619-627.
6. Vijayan VK, Paramesh H, Salvi SS, Dalal AA. Enhancing indoor air quality: the air filter advantage. *Lung India*. 2015;32(5):473-479.
7. World Health Organization. World Health Assembly closes, passing resolutions on air pollution and epilepsy. [Internet]. Geneva: WHO; 2015. [Consult. 15 Fev. 2016]. Disponível em <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2015/wha-26-may-2015/en/>.
8. European Environment Agency. Air quality in Europe. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2015. (Report; 5/2015).
9. World Health Organization. WHO Guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Copenhagen: Regional Office for Europe; 2010.
10. Heinrich J. Influence of indoor factors in dwellings on the development of childhood asthma. *Int J Hyg Environ Health*. 2011;214(1):1-25.
11. Fekadu S, Getachewu B. Microbiological assessment of indoor air of teaching hospital wards: a case of Jimma University Specialized Hospital. *Ethiop J Health Sci*. 2015;25(2):117-122.
12. Leung M, Chan AH. Control and management of hospital indoor air quality. *Med Sci Monit*. 2006;12(3):17-23.
13. Otter JA, Yezli S, French GL. The role played by contaminated surfaces in the transmission of nosocomial pathogens. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2011;32(7):687-699.
14. Fernstrom A, Goldblatt M. Aerobiology and its role in the transmission of infectious diseases. *J Pathog*. 2012;2013(493960):1-13.

15. Mirhoseini SH, Nikaeen M, Khanahmad H, Hatamzadeh M, Hassanzadeh A. Monitoring of airborne bacteria and aerosols in different wards of hospitals - Particle counting usefulness in investigation of airborne bacteria. *Ann Agric Environ Med*. 2015;22(4):670-673.
16. Wan GH, Chung FF, Tang CS. Long-term surveillance of air quality in medical center operating rooms. *Am J Infect Control*. 2011;39(4):302-309.
17. Azêdo DF, Alves MH. Práticas de marketing interno nas organizações de saúde e a sua influência na motivação dos colaboradores. *Rev Port Saúde Pública*. 2013;31(2):181-192.
18. Borrego C, Neuparth N, Carvalho AC, Carvalho A, Miranda AI, Costa AM, et al. A saúde e o ar que respiramos: um caso de estudo em Portugal. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian; 2008.
19. World Health Organization. Health risks of air pollution in Europe: HRAPIE Project: recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. Copenhagen: Regional Office for Europe; 2013.
20. Lei n.º 19/2014. Diário da República, 1ª série – N.º 73 – 14 de Abril de 2014.
21. Martínez F, Callejo R. Edifícios saudáveis para trabalhadores sanos: calidad de ambientes interiores. Valladolid: Junta de Castilla y León; 2006.
22. Portugal. Ministério da Saúde. Direcção-Geral da Saúde. Alterações climáticas e saúde humana: estratégia nacional de adaptação às alterações climáticas. Lisboa: Grupo de Trabalho Sectorial Saúde Humana. DGS; 2011.
23. Alvim-Ferraz MC, Sousa SI, Pereira MC, Martins FG. Contribution of anthropogenic pollutants to the increase of tropospheric ozone levels in the Oporto metropolitan area, Portugal since the 19th century. *Environ Pollution*. 2006;140(3):516-524.
24. Rodrigues A. Avaliação da qualidade do ar a longo prazo da cidade de Lisboa. Caparica: Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa; 2013. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente.
25. Miranda A, Silveira C, Ferreira J, Monteiro A, Lopes D, Relvas H, et al. Current air quality plans in Europe designed to support air quality management policies. *Atmosph Pollution Res*. 2015;6(3):434-443.
26. Organization for Economic Co-operation and Development. OECD environmental outlook to 2050. [Internet]. Paris: OECD Publishing; 2012. [Consult. 02 Mar. 2016]. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1787/9789264122246-en>.
27. Kelly, FJ, Fuller GW, Walton HA, Fussell JC. Monitoring air pollution: use of early warning systems for public health. *Respirology*. 2012;17(1):7-19.
28. World Health Organization. WHO Guidelines for indoor air quality: dampness and mould. Copenhagen: Regional Office for Europe; 2009.

29. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. ASHRAE position document on indoor air quality. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; 2011.
30. Lai AC, Mui KW, Wong LT, Law LY. An evaluation model for indoor environmental quality (IEQ) acceptance in residential buildings. *Ener Buildings*. 2009;41:930-936.
31. European Federation of Allergy and Airways Diseases. Report of the event "Indoor Air Quality and its Effects on Health: a presentation of the guidelines for health-based ventilation in Europe". Brussels: EFAAD; 2013.
32. Jantunen M, Fernandes EO, Carrer P, Kephelopoulos S. Promoting actions for healthy indoor air. Luxembourg: European Commission Directorate General for Health and Consumers; 2011.
33. Gomzi M.; Bobic J. Sick building syndrome: do we live and work in unhealthy environment? *Period Biol*. 2009;101(1):79-84.
34. Runeson-Broberg R, Norbäck D. Sick building syndrome (SBS) and sick house syndrome (SHS) in relation to psychosocial stress at work in the Swedish workforce. *Inter Arch Occup Environ Health*. 2013;86(8):915-922.
35. Dales R, Liu L, Wheeler AJ, Gilbert NL. Quality of indoor residential air and health. *CMAJ*. 2008;179(2):147-152.
36. Agência Portuguesa do Ambiente. Qualidade do ar em espaços interiores: um guia técnico. Amadora: Agência Portuguesa do Ambiente; 2010.
37. Piteira C. A Qualidade do ar interior em instalações hospitalares. Lisboa: LIDEL - Edições Técnicas; 2007.
38. Magalhães A. Avaliação do contributo na qualidade do ar interior hospitalar da humidade e dos fungos. Porto: Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto; 2009. Tese de mestrado em Engenharia Biomédica.
39. Franklin PJ. Indoor air quality and respiratory health of children. *Paediatr Respir Rev*. 2007;8(4):281-286.
40. Bernstein JA, Alexis N, Bacchus H, Bernstein IL, Fritz P, Horner E, et al. The health effects of nonindustrial indoor air pollution. *J Allergy Clin Immunol*. 2008;121:585-591.
41. Koistinen K, Kotzias D, Kephelopoulos S, Schlitt C, Carrer P, Jantunen M, et al. The INDEX project: executive summary of a European Union project on indoor air pollutants. *Allergy*. 2008;63(7):810-819.
42. Kotzias D, Geiss O, Tirendi S, Barrero J, Reina V, Gotti A, et al. Exposure to multiple air contaminants in public buildings, schools and kindergartens: the European indoor air monitoring and exposure assessment (AIRMEX) study. *Fresenius Environ Bulletin*. 2009;18(5a):670-681.

43. Franck U, Herbarth O, Röder S, Schlink U, Borte M, Diez U, et al. Respiratory effects of indoor particles in young children are size dependent. *Sci Total Environ.* 2011;409(9):1621-1631.
44. Khan AA, Karuppayil SM. Fungal pollution of indoor environments and its management. *Saudi J Biol Sci.* 2012;19(4):405-426.
45. World Health Organization. Indoor air pollution and health. [Internet]. Geneva: WHO; 2005. (Fact Sheet; 292). [Consult. 23 Fev. 2016]. Disponível em <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs292/en/>.
46. Portaria n.º 353-A/2013. Diário da República, 1.ª série - N.º 235 - 4 de Dezembro de 2013.
47. Santos J. Avaliação experimental dos níveis de qualidade do ar interior em quartos de dormir: um caso de estudo. Caparica: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa; 2008. Dissertação de Mestrado Mestre em Engenharia Civil.
48. Silva DP, Nazaré DL, Muniz JW, Câmara CN. Infecções hospitalares associadas à qualidade do ar em ambientes climatizados. *Rev Epidemiol Contr Infecção.* 2013;3(4):153-157.
49. Agência Portuguesa do Ambiente. Direcção-Geral da Saúde. Metodologia de avaliação da qualidade do ar interior em edifícios de comércio e serviços no âmbito da Portaria n.º 353-A/2013. Amadora: Agência Portuguesa do Ambiente. Direcção-Geral da Saúde; 2015.
50. Portaria n.º 291/2012. Diário da República, 1.ª série - N.º 185 - 24 de Setembro de 2012.
51. El-Sharkawy MF, Noweir ME. Indoor air quality levels in a University Hospital in the Eastern Province of Saudi Arabia. *J Family Community Med.* 2014;21(1):39-47.
52. Hellgren UM, Hyvarinen M, Holopainen R, Reijula K. Perceived indoor air quality, air-related symptoms and ventilation in Finnish hospitals. *Int J Occup Med Environ Health.* 2011;24(1):48-56.
53. Nimlyat PS, Kandar MZ. Appraisal of indoor environmental quality (IEQ) in healthcare facilities: a literature review. *Sustain Cities Soc.* 2015;17:61-68.
54. Romley JA, Hackbarth A, Goldman DP. The impact of air quality on hospital spending. Santa Monica, CA: Rand Corporation; 2010.
55. Fernandes H. Utilização de uma plataforma integrada de monitorização como ferramenta na gestão da segurança e controlo. *TecnoHospital.* 2015;(20):12-14.
56. De Giuli V, Zecchin R, Salmaso L, Corain L, De Carli M. Measured and perceived indoor environmental quality: Padua Hospital case study. *Build Environ.* 2012;59:211-226.

57. Huang PY, ShiZY, ChenCH, Den W, Huang HM, Tsai JJ. Airborne and surface-bound microbial contamination in two intensive care units of a medical center in Central Taiwan. *Aerosol Air Qual Res.* 2013;13:1060-1069.
58. Chien-Cheng J, Pei-Chih W, Chao-Heng T, Huey-Jen S. Indoor air quality varies with ventilation types and working areas in hospitals. *Building and Environment.* 2015;85:190-195.
59. Berton F, Di Novi C. Occupational hazards of hospital personnel: assessment of a safe alternative to formaldehyde. *J Occup Health.* 2012;54:74-78.
60. Bessonneau V, Mosqueron L, Berrube A, Mukensturm G, Buffet-Bataillon S, Gangneux JP, et al. VOC contamination in hospital, from stationary sampling of a large panel of compounds, in view of healthcare workers and patients exposure assessment. *Plos One.* 2013;8(2):e55535.
61. Eklaise FO, Ighosewe OU, Ajakpovi OD. Hospital indoor airborne microflora in private and government owned hospitals in Benin City, Nigeria. *World J Med Sci.* 2008;3(1):19-23.
62. Qudiesat K, Abu-Elteen K, Elkarmi A, Hamad M, Abussaud M. Assessment of airborne pathogens in healthcare settings. *Afr J Microb Res.* 2009;3(2):66-76.
63. Carling PC, Huang SS. Improving healthcare environmental cleaning and disinfection: current and evolving issues. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2013;34(5):507-513.
64. Haas JP, Menz J, Dusza S, Montecalvo MA. Implementation and impact of ultraviolet environmental disinfection in an acute care setting. *Am J Infect Control.* 2014;42(6):586-590.
65. Escombe AR, Oeser CC, Gilman RH, Navincopa M, Ticona E, Pan W, et al. Natural ventilation for the prevention of airborne contagion. *PLoS Med.* 2007;4(2):68-77.
66. National Health and Medical Research Council (NHMRC). Australian guidelines for the prevention and control of infection healthcare. Sydney: Australian Commission on Safety and Quality in Healthcare. Australian Government; 2010.
67. Pina E, Ferreira E, Marques A, Matos B. Infecções associadas aos cuidados de saúde e segurança do doente. *Rev Port Saúde Publica.* 2010;10:27-39.
68. World Health Organization. Report on the burden of endemic health care-associated infection worldwide: Clean Care is Safer Care. Geneva: WHO; 2011.
69. Portugal. Ministério da Saúde. Administração Regional de Saúde do Norte. Manual de controlo da infecção. Porto: Grupo Regional de Controlo da Infecção. ARS Norte; 2013.
70. Chemaly RF, Simmons S, Dale C, Ghantoji SS, Rodriguez M, Gubb J, et al. The role of the healthcare environment in the spread of multidrug-resistant organisms: update on current best practices for containment. *Ther Adv Infect Dis.* 2014;2(3-4):79-90.

71. Helmis CG, Tzoutzas J, Flocas HA, Halios CH, Stathopoulou OI, Assimakopoulos VD, et al. Indoor air quality in a dentistry clinic. *Sci Total Environ*. 2008;377(2-3):349-365.
72. Salonen H, Lahtinen M, Lappalainen S, Nevala N, Knibbs L, Morawska LD, et al. Design approaches for promoting beneficial indoor environments in healthcare facilities: a review. *Intelligent Buildings International*. 2013;5(1):26–50.
73. Health Quality Ontario. Air cleaning technologies: an evidence-based analysis. *Ont Health Technol Assess Ser*. 2005;5(17):1-52.
74. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. ASHRAE position document on filtration and air cleaning. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; 2015.
75. Bayless, VL. Photocatalytic oxidation of volatile organic compounds for indoor air applications. Manhattan: Kansas State University; 2009. Thesis.
76. Bonoli A, Zanni S. Indoor air quality in waste treatment: environmental issue and biotechnology application for air pollution containment: a case study. *WSEAS Trans Environ Develop*. 2014;10(54):529-541.
77. Keown OP, Parston G, Patel H, Rennie F, Saoud F, Al Kuwari H, et al. Lessons from eight countries on diffusing innovation in health care. *Health Aff*. 2014;33(9):1516-1522.
78. Hoof J, Zwerts-Verhelst EL, Nieboer ME, Wouters EJ. Innovations in multidisciplinary education in healthcare and technology. *Perspec Med Educ*. 2015;4(3):146-148.
79. Lopes A, Capricho L. Manual de Gestão da Qualidade. 1 st ed. Lisboa: RH Editora; 2007.
80. Carneiro AV. O erro clínico, os efeitos adversos terapêuticos e a segurança dos doentes: uma análise baseada na evidência científica. *Rev Port Saúde Pública*. 2010;(10):3-10.
81. Serra FR, Ferreira MP, Torres MC, Torres AP. Gestão estratégica: conceitos e prática. Lisboa: LIDEL - Edições Técnicas; 2011.
82. Comissão Europeia. Relatório da Comissão ao Conselho com base nos relatórios dos Estados-Membros relativos à aplicação da Recomendação do Conselho sobre a segurança dos pacientes, incluindo a prevenção e o controlo de infeções associadas aos cuidados de saúde (2009/C 151/01). [Internet]. Bruxelas: Comissão Europeia; 2012. [Consult. 20 Fev. 2016]. Disponível em [http://ec.europa.eu/health/patient\\_safety/docs/council\\_2009\\_report\\_pt.pdf](http://ec.europa.eu/health/patient_safety/docs/council_2009_report_pt.pdf).
83. World Economic Forum. Sustainable health systems visions, strategies, critical uncertainties and scenarios. Cologny, Geneva: World Economic Forum; 2013.

84. Griffiths EA, Hendrich JK, Stoddart SD, Walsh, SC. Acceptance of health technology assessment submissions with incremental cost-effectiveness ratios above the cost-effectiveness threshold. *Clinicoecon Outcomes Res.* 2015;(7):463-476.
85. Decreto-Lei n.º 79/2006. Diário da República – I Série-A – N.º 67 – 4 de Abril de 2006.
86. Decreto-Lei n.º 118/2013. Diário da República, 1ª série – N.º 159 – 20 de Agosto de 2013.
87. Decreto-Lei n.º 68-A/2015. Diário da República, 1ª série – N.º 84 – 30 de Abril de 2015.
88. Decreto-Lei n.º 194/2015. Diário da República, 1ª série – N.º 179 – 14 de Setembro de 2015.
89. Decreto-Lei n.º 251/2015. Diário da República, 1ª série – N.º 231 – 25 de Novembro de 2015.
90. Miguel MM, Boccato C, Giordana G. Dialysis centres: an architectural guide. Lengerich, Germany: Pabst Science Publishers; 2012.
91. Ordem dos Médicos. Manual de boas práticas de diálise crónica. Lisboa: Colégio de Especialidade de Nefrologia; 2011.
92. Grassmann A, Uhlenbusch-Korner I, Bonnie-Schorn J, Vienken J. Composition and management of hemodialysis fluids. Zagreb: Pabst Science Publishers; 2000.
93. ADENE. Nota Técnica NT-SCE-02: Metodologia para auditorias periódicas de QAI em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE. Lisboa: Sistema Nacional de Certificação Energética da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios; 2009.
94. Portaria n.º 347/2013. Diário da República, 1.ª série - N.º 231 - 28 de Novembro de 2013.
95. Proença C, Cano M. Qualidade do ar interior. *Cadernos de Edifícios.* 2010;6:173-190.
96. Ginja J, Borrego C, Coutinho M, Nunes C, Morais- Almeida M. Qualidade do ar interior nas habitações portuguesas. In: CINCOS'12: Congresso de Inovação na Construção Sustentável, Aveiro, Portugal, 20-22 Setembro 2012. Curia: Plataforma para a Construção Sustentável; 2012.
97. Massey D, Kulshrestha A, Masih J, Taneja A. Seasonal trends of PM<sub>10</sub>, PM<sub>5.0</sub>, PM<sub>2.5</sub> & PM<sub>1.0</sub> in indoor and outdoor environments of residential homes located in North-Central India. *Build Environ.* 2012;47:223-231.





---

## **ANEXOS**

---



## Anexo 1

Fontes de emissão e potenciais efeitos na saúde humana dos poluentes do ar interior.

| Poluentes   | Fontes de emissão   | Potenciais efeitos na saúde humana   |
|---|---|--|
| Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)               | Fotocopiadoras, impressoras, computadores, materiais de construção e decoração (e.g. carpetes mobiliário, calafetagem, tintas), produtos de limpeza, solventes, adesivos, insecticidas, herbicidas, produtos de combustão, fumo de tabaco, produtos de cosmética (e.g. perfumes). | Irritação de olhos, nariz e garganta, dores de cabeça, fadiga, reacções alérgicas, vertigens, náuseas, problemas respiratórios.  |
| Formaldeído (CH <sub>2</sub> O)                   | Materiais de construção e decoração (e.g. carpetes mobiliário, materiais de isolamento, madeira prensada, contraplacado não selado, tecidos, tintas), papel químico, colas, desinfectantes  | Irritação de olhos, nariz, garganta e vias respiratórias, dores de cabeça, náuseas, vertigens, fadiga.   |
| Monóxido de carbono (CO)                          | Fumo de tabaco, queima de combustíveis fósseis (e.g. petróleo, carvão, madeira, gás), emissões de veículos.   | Dores de cabeça, náuseas, fadiga, vertigens, formação de carboxihemoglobina que diminui o transporte de oxigénio, pode afectar os sistemas nervoso central e cardiovascular. |
| Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )             | Presença humana (respiração), queima de combustíveis fósseis (e.g. petróleo, carvão, madeira, gás).   | Dores de cabeça, irritação de olhos e garganta, fadiga, falta de ar, pode afectar os sistemas nervoso central e cardiovascular.  |
| Ozono (O <sub>3</sub> )                           | Fotocopiadoras, impressoras a laser, motores eléctricos, purificadores de ar electrostáticos, geradores de ozono, ozono do ar exterior.   | Irritação de olhos e garganta, reacções alérgicas, dores de cabeça, secura de boca e garganta, dores no peito e tosse.   |
| Partículas em suspensão (PM)                      | Materiais de construção e decoração (e.g. carpetes mobiliário, materiais de isolamento), resíduos de água, fumo de tabaco, actividades de limpeza, sistemas de ventilação.  | Irritação de olhos, nariz, garganta e pele, problemas respiratórios.   |
| Radão (Rn)  | Materiais de construção, solo e águas subterrâneas.   | Cancro do pulmão.  |
| Microorganismos e outros contaminantes biológicos | Condensação de água nos sistemas de ventilação, materiais húmidos, desumidificadores, condensadores de evaporação, torres de arrefecimento, ocupantes do espaço (ser humano, plantas e animais).  | Febre, dores de cabeça, fadiga, dores musculares, irritação de olhos, nariz, garganta e pele; reacções alérgicas.  |

Fonte: APA<sup>[36]</sup>, Martínez e Callejo<sup>[21]</sup>



## Anexo 2

Limiar de protecção para poluentes físico-químicos e condições de referência para poluentes microbiológicos.

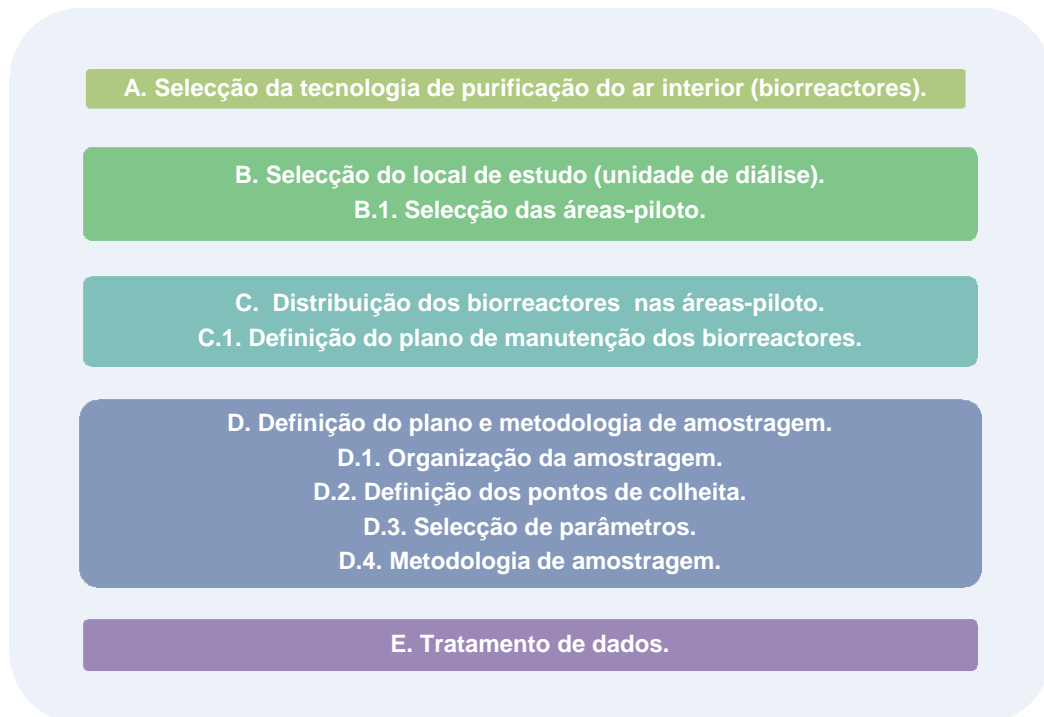
| Poluentes físico-químicos                            | Unidades           | Limiar de protecção  |
|--|--------------------|--|
| Partículas em suspensão (fracção PM <sub>10</sub> )  | µg/m <sup>3</sup>  | 50   |
| Partículas em suspensão (fracção PM <sub>2,5</sub> ) | µg/m <sup>3</sup>  | 25   |
| Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVs)           | µg/m <sup>3</sup>  | 600  |
| Monóxido de carbono (CO)                             | mg/m <sup>3</sup>  | 10   |
|  | ppmv               | 9  |
| Formaldeído (CH <sub>2</sub> O)                      | µg/m <sup>3</sup>  | 100  |
|  | ppmv               | 0,08   |
| Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )                | mg/m <sup>3</sup>  | 2250   |
|  | ppm                | 1250   |
| Radão  | Bq/m <sup>3</sup>  | 400  |
| Poluentes microbiológicos                            | Unidades           | Condições de referência  |
| Bactérias  | UFC/m <sup>3</sup> | Concentração no interior inferior à do exterior, acrescida de 350 UFC/m <sup>3</sup> |
| Fungos   | UFC/m <sup>3</sup> | Concentração no interior inferior à detetada no exterior                             |

Fonte: Portaria n.º 353-A/2013, de 4 de Dezembro<sup>[46]</sup>



### Anexo 3

Esquema representativo da metodologia desenvolvida para o projecto-piloto.

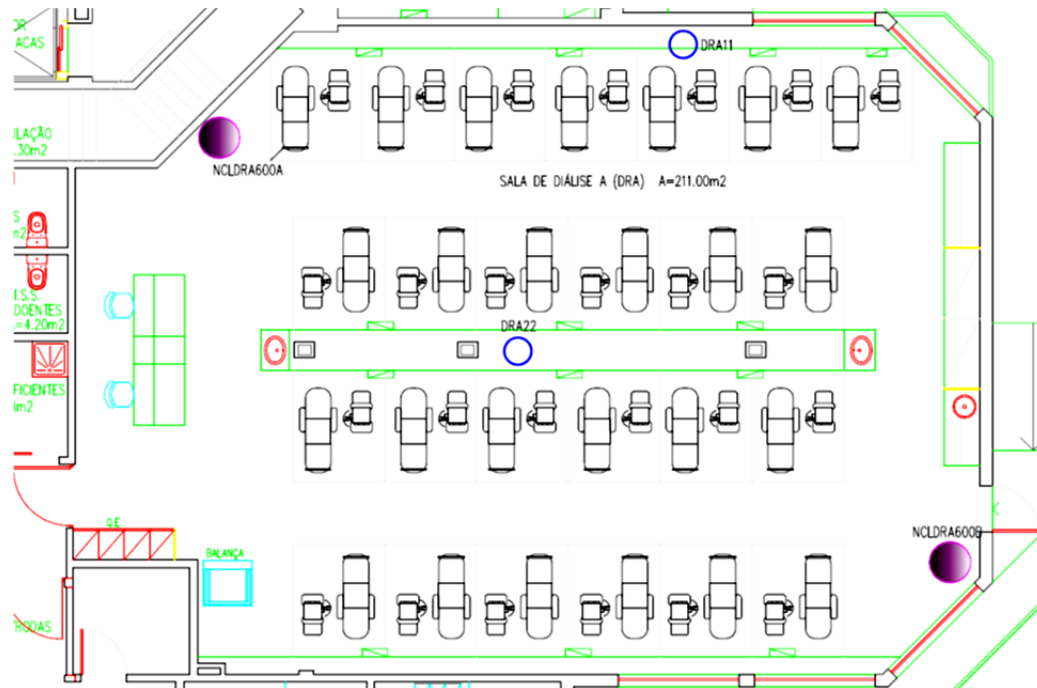









## Anexo 4

### Planta da sala de diálise A (DRA).



#### Legenda:

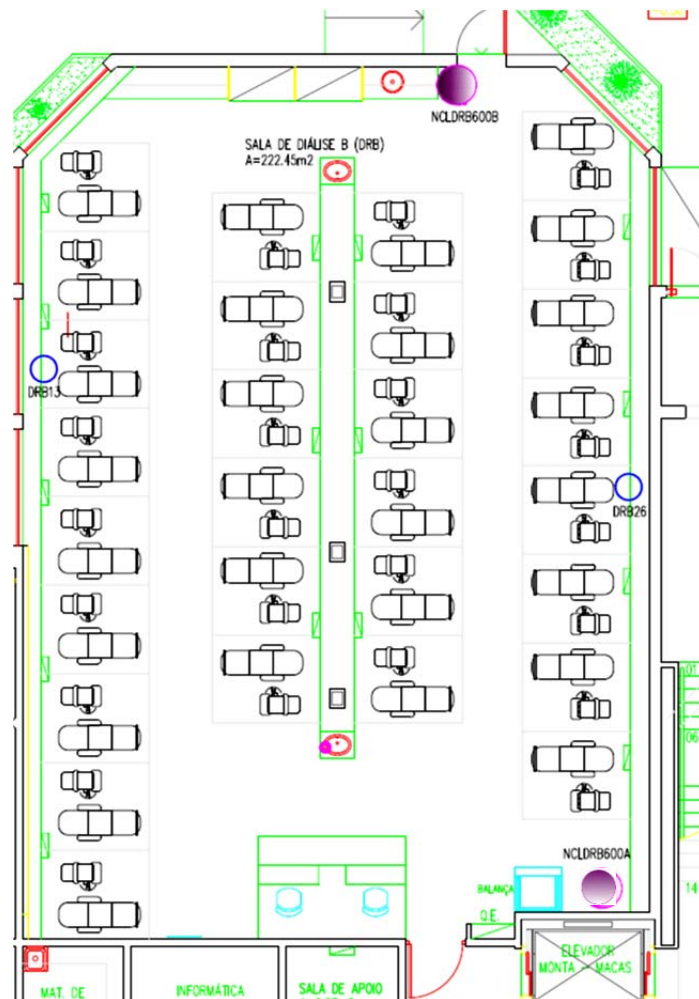
-  Biorreatores
-  Pontos de colheita
-  Postos de hemodiálise

**Nota:** A representação esquemática não se encontra à escala.






## Anexo 5

### Planta da sala de diálise B (DRB).



#### Legenda:

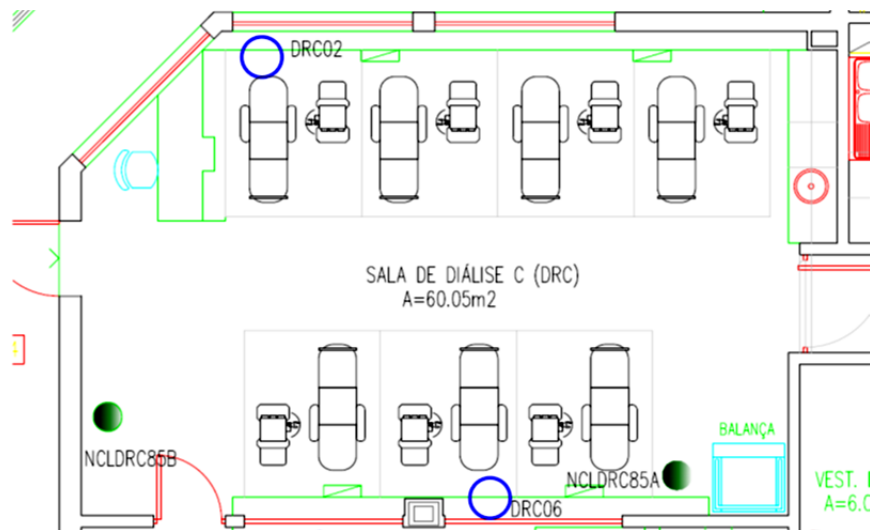
-  Biorreactores
-  Pontos de colheita
-  Postos de hemodiálise

**Nota:** A representação esquemática não se encontra à escala.






## Anexo 6

### Planta da sala de diálise C (DRC).



#### Legenda:

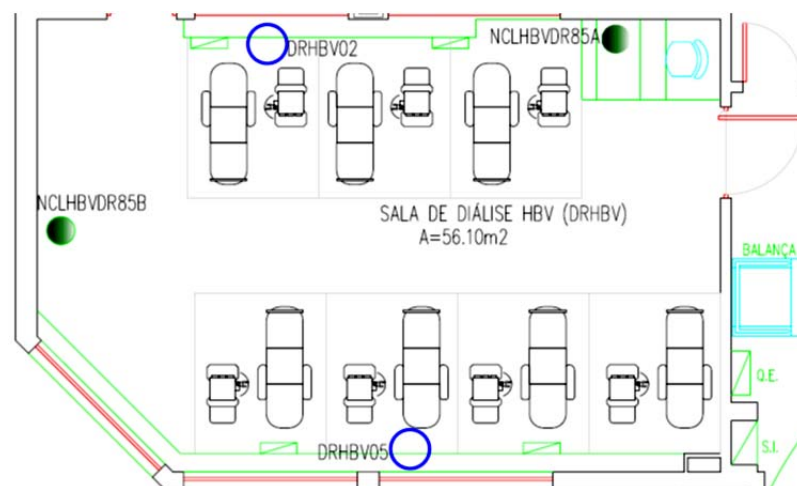
-  Biorreactores
-  Pontos de colheita
-  Postos de hemodiálise

**Nota:** A representação esquemática não se encontra à escala.






## Anexo 7

Planta da sala de diálise HBV (DRHBV).



### Legenda:

-  Biorreactores
-  Pontos de colheita
-  Postos de hemodiálise

**Nota:** A representação esquemática não se encontra à escala.





## Anexo 8

Cronograma de actividades.

| #  | Actividades                          | Fev-16  |   |   |   | Mar-16  |   |   |   | Abr-16  |   |   |   | Mai-16  |   |   |   | Jun-16  |   |   |   | Jul-16  |   |   |   |
|----|--------------------------------------|---------|---|---|---|---------|---|---|---|---------|---|---|---|---------|---|---|---|---------|---|---|---|---------|---|---|---|
|    |                                      | Semanas |   |   |   | Semanas |   |   |   | Semanas |   |   |   | Semanas |   |   |   | Semanas |   |   |   | Semanas |   |   |   |
|    |                                      | 1       | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 |
| 1  | Definição de conteúdos               |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |
| 2  | Pesquisa bibliográfica - protocolo   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |
| 3  | Elaboração protocolo de investigação |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |
| 4  | Entrega protocolo de investigação    |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |
| 5  | Pesquisa bibliográfica - dissertação |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |
| 6  | Tratamento de dados                  |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |
| 7  | Análise de resultados                |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |
| 8  | Discussão de resultados              |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |
| 9  | Conclusões do estudo                 |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |
| 10 | Verificações finais                  |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |
| 11 | Entrega da dissertação               |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |         |   |   |   |



## Anexo 9

### Testes estatísticos – Temperatura (T).

- **Teste de Normalidade**

**Tests of Normality**

|       |   | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |                   | Shapiro-Wilk |    |      |
|-------|---|---------------------------------|----|-------------------|--------------|----|------|
|       |   | Statistic                       | df | Sig.              | Statistic    | df | Sig. |
| valor | 0 | ,138                            | 8  | ,200 <sup>*</sup> | ,979         | 8  | ,956 |
|       | 5 | ,218                            | 8  | ,200 <sup>*</sup> | ,908         | 8  | ,337 |

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

O pressuposto da normalidade das distribuições nos dois grupos ( $t_0$  e  $t_5$ ) foi avaliado com o teste de Shapiro-Wilk ( $SW(8)_{t_0} = 0,979$ ;  $p = 0,956$ ;  $SW(8)_{t_5} = 0,908$ ;  $p = 0,337$ ). A variável dependente apresenta distribuição normal nos dois grupos.

- **Teste de t-Student**

**Paired Samples Statistics**

|        |    | Mean  | N | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|--------|----|-------|---|----------------|-----------------|
| Pair 1 | T0 | 22,23 | 8 | ,944           | ,334            |
|        | T1 | 20,91 | 8 | 1,763          | ,623            |

**Paired Samples Test**

|        |         | Paired Differences |                |                 |   |       | t     | df | Sig. (2-tailed) |
|--------|---------|--------------------|----------------|-----------------|---|-------|-------|----|-----------------|
|        |         | Mean               | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference |       |       |    |                 |
|        |         |                    |                |                 | Lower                                     | Upper |       |    |                 |
| Pair 1 | T0 - T1 | 1,313              | 1,597          | ,565            | -,022                                     | 2,647 | 2,325 | 7  | ,053            |

As diferenças observadas entre os valores médios de temperatura nos dois grupos ( $t_0$  e  $t_5$ ) não são estatisticamente significativas ( $t(7) = 2,325$ ;  $p = 0,053$ ).

**Nota:** Os testes estatísticos foram realizados com o *software* SPSS Statistics (v.22, IBM SPSS, Chicago, IL).



## Anexo 10

### Testes estatísticos – Humidade relativa (HR)

- **Teste de Normalidade**

**Tests of Normality**

|       |   | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |                   | Shapiro-Wilk |    |      |
|-------|---|---------------------------------|----|-------------------|--------------|----|------|
|       |   | Statistic                       | df | Sig.              | Statistic    | df | Sig. |
| valor | 0 | ,231                            | 8  | ,200 <sup>*</sup> | ,891         | 8  | ,238 |
|       | 5 | ,188                            | 8  | ,200 <sup>*</sup> | ,912         | 8  | ,367 |

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

O pressuposto da normalidade das distribuições nos dois grupos ( $t_0$  e  $t_5$ ) foi avaliado com o teste de Shapiro-Wilk ( $SW(8)_{t_0} = 0,891$ ;  $p = 0,238$ ;  $SW(8)_{t_5} = 0,912$ ;  $p = 0,367$ ). A variável dependente apresenta distribuição normal nos dois grupos.

- **Teste de t-Student**

**Paired Samples Statistics**

|           | Mean  | N | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|-----------|-------|---|----------------|-----------------|
| Pair 1 T0 | 44,18 | 8 | 1,960          | ,693            |
| T1        | 65,08 | 8 | 5,391          | 1,906           |

**Paired Samples Test**

|        |         | Paired Differences |                |                 |   | t       | df      | Sig. (2-tailed) |       |
|--------|---------|--------------------|----------------|-----------------|---|---------|---------|-----------------|-------|
|        |         | Mean               | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference |         |         |                 |       |
|        |         |                    |                |                 | Lower                                     |         |         |                 | Upper |
| Pair 1 | T0 - T1 | -20,900            | 5,840          | 2,065           | -25,782                                   | -16,018 | -10,122 | 7               | ,000  |

As diferenças observadas entre os valores médios de humidade relativa nos dois grupos ( $t_0$  e  $t_5$ ) são estatisticamente significativas ( $t(7) = -10,122$ ;  $p < 0,001$ ).

**Nota:** Os testes estatísticos foram realizados com o *software* SPSS Statistics (v.22, IBM SPSS, Chicago, IL).



## Anexo 11

### Testes estatísticos – COVs Totais

- **Teste de Normalidade**

**Tests of Normality**

|         |   | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |      | Shapiro-Wilk |    |      |
|---------|---|---------------------------------|----|------|--------------|----|------|
| momento |   | Statistic                       | df | Sig. | Statistic    | df | Sig. |
| valor   | 0 | ,336                            | 4  | .    | ,864         | 4  | ,276 |
|         | 5 | ,404                            | 4  | .    | ,690         | 4  | ,009 |

O pressuposto da normalidade das distribuições nos dois grupos ( $t_0$  e  $t_5$ ) foi avaliado com o teste de Shapiro-Wilk ( $SW(4)_{t_0} = 0,864$ ;  $p = 0,276$ ;  $SW(4)_{t_5} = 0,690$ ;  $p = 0,09$ ). A variável dependente apresenta distribuição normal apenas no grupo relativo ao momento  $t_0$ . Apesar de não se verificarem os pressupostos, optou-se pela utilização do teste paramétrico, por estes serem fiáveis, mesmo quando não se verificam todas as condições.

- **Teste de t-Student**

**Paired Samples Statistics**

|        |           | Mean   | N | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|--------|-----------|--------|---|----------------|-----------------|
| Pair 1 | indicador | 996,75 | 4 | 152,738        | 76,369          |
|        | valor     | 556,00 | 4 | 764,723        | 382,362         |

**Paired Samples Test**

|        |                   | Paired Differences |                |                 |   |          | t     | df | Sig. (2-tailed) |
|--------|-------------------|--------------------|----------------|-----------------|---|----------|-------|----|-----------------|
|        |                   | Mean               | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference |          |       |    |                 |
|        |                   |                    |                |                 | Lower                                     | Upper    |       |    |                 |
| Pair 1 | indicador - valor | 440,750            | 751,614        | 375,807         | -755,236                                  | 1636,736 | 1,173 | 3  | ,326            |

As diferenças observadas entre os valores médios de COVs Totais nos dois grupos ( $t_0$  e  $t_5$ ) não são estatisticamente significativas ( $t(3) = 1,173$ ;  $p = 0,326$ ).

**Nota:** Os testes estatísticos foram realizados com o *software* SPSS Statistics (v.22, IBM SPSS, Chicago, IL).





## Anexo 12

### Testes estatísticos – Formaldeído (CH<sub>2</sub>O)

- **Teste de Normalidade**

**Tests of Normality**

| momento | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |                   | Shapiro-Wilk |    |      |
|---------|---------------------------------|----|-------------------|--------------|----|------|
|         | Statistic                       | df | Sig.              | Statistic    | df | Sig. |
| valor 0 | ,184                            | 8  | ,200 <sup>*</sup> | ,915         | 8  | ,394 |
| 5       | ,250                            | 8  | ,149              | ,833         | 8  | ,064 |

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

O pressuposto da normalidade das distribuições nos dois grupos ( $t_0$  e  $t_5$ ) foi avaliado com o teste de Shapiro-Wilk ( $SW(8)_{t_0} = 0,915$ ;  $p = 0,394$ ;  $SW(8)_{t_5} = 0,833$ ;  $p = 0,064$ ). A variável dependente apresenta distribuição normal nos dois grupos.

- **Teste de t-Student**

**Paired Samples Statistics**

|           | Mean    | N | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|-----------|---------|---|----------------|-----------------|
| Pair 1 T0 | 1406,25 | 8 | 886,710        | 313,499         |
| T1        | 90,00   | 8 | 44,401         | 15,698          |

**Paired Samples Test**

|        |         | Paired Differences |                |                 |   |          | t     | df | Sig. (2-tailed) |
|--------|---------|--------------------|----------------|-----------------|---|----------|-------|----|-----------------|
|        |         | Mean               | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference |          |       |    |                 |
|        |         |                    |                |                 | Lower                                     | Upper    |       |    |                 |
| Pair 1 | T0 - T1 | 1316,250           | 890,777        | 314,937         | 571,542                                   | 2060,958 | 4,179 | 7  | ,004            |

As diferenças observadas entre os valores médios de CH<sub>2</sub>O nos dois grupos ( $t_0$  e  $t_5$ ) são estatisticamente significativas ( $t(7) = 4,179$ ;  $p = 0,004$ ).

**Nota:** Os testes estatísticos foram realizados com o *software* SPSS Statistics (v.22, IBM SPSS, Chicago, IL).



## Anexo 13

### Testes estatísticos – Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

- **Teste de Normalidade**

| Tests of Normality |       |                                 |      |      |                   |      |      |      |
|--------------------|-------|---------------------------------|------|------|-------------------|------|------|------|
|                    |       | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |      |      | Shapiro-Wilk      |      |      |      |
|                    |       | Statistic                       | df   | Sig. | Statistic         | df   | Sig. |      |
| momento            | valor | 0                               | ,214 | 8    | ,200 <sup>*</sup> | ,921 | 8    | ,437 |
|                    |       | 5                               | ,239 | 8    | ,200 <sup>*</sup> | ,851 | 8    | ,097 |

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

O pressuposto da normalidade das distribuições nos dois grupos ( $t_0$  e  $t_5$ ) foi avaliado com o teste de Shapiro-Wilk ( $SW(8)_{t_0} = 0,921$ ;  $p = 0,437$ ;  $SW(8)_{t_5} = 0,851$ ;  $p = 0,097$ ). A variável dependente apresenta distribuição normal nos dois grupos.

- **Teste de t-Student**

#### Paired Samples Statistics

|           | Mean   | N | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|-----------|--------|---|----------------|-----------------|
| Pair 1 T0 | 851,13 | 8 | 52,654         | 18,616          |
| T1        | 841,88 | 8 | 74,786         | 26,441          |

#### Paired Samples Test

|        |         | Paired Differences |                |                 |   |        | t    | df | Sig. (2-tailed) |
|--------|---------|--------------------|----------------|-----------------|---|--------|------|----|-----------------|
|        |         | Mean               | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference |        |      |    |                 |
|        |         |                    |                |                 | Lower                                     | Upper  |      |    |                 |
| Pair 1 | T0 - T1 | 9,250              | 56,933         | 20,129          | -38,347                                   | 56,847 | ,460 | 7  | ,660            |

As diferenças observadas entre os valores médios de CO<sub>2</sub> nos dois grupos ( $t_0$  e  $t_5$ ) não são estatisticamente significativas ( $t(7) = 0,460$ ;  $p = 0,660$ ).

**Nota:** Os testes estatísticos foram realizados com o *software* SPSS Statistics (v.22, IBM SPSS, Chicago, IL).



## Anexo 14

### Testes estatísticos – Partículas em suspensão (PM)

- **Teste de Normalidade**

**Tests of Normality**

| momento | valor | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |      | Shapiro-Wilk |    |      |
|---------|-------|---------------------------------|----|------|--------------|----|------|
|         |       | Statistic                       | df | Sig. | Statistic    | df | Sig. |
|         | 0     | ,323                            | 8  | ,014 | ,789         | 8  | ,022 |
|         | 5     | ,253                            | 8  | ,139 | ,885         | 8  | ,208 |

a. Lilliefors Significance Correction

O pressuposto da normalidade das distribuições nos dois grupos ( $t_0$  e  $t_5$ ) foi avaliado com o teste de Shapiro-Wilk ( $SW(8)_{t_0} = 0,789$ ;  $p = 0,022$ ;  $SW(8)_{t_5} = 0,885$ ;  $p = 0,208$ ). A variável dependente apresenta distribuição normal apenas no grupo relativo ao momento  $t_5$ . Apesar de não se verificar um dos pressupostos, optou-se pela utilização do teste paramétrico, por estes serem fiáveis, mesmo quando não se verificam todas as condições.

- **Teste de t-Student**

**Paired Samples Statistics**

|           | Mean  | N | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|-----------|-------|---|----------------|-----------------|
| Pair 1 T0 | 15,13 | 8 | 4,086          | 1,445           |
| T1        | 46,75 | 8 | 5,339          | 1,887           |

**Paired Samples Test**

|        |         | Paired Differences |                |                 |   | t       | df      | Sig. (2-tailed) |       |
|--------|---------|--------------------|----------------|-----------------|---|---------|---------|-----------------|-------|
|        |         | Mean               | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference |         |         |                 |       |
|        |         |                    |                |                 | Lower                                     |         |         |                 | Upper |
| Pair 1 | T0 - T1 | -31,625            | 7,855          | 2,777           | -38,192                                   | -25,058 | -11,388 | 7               | ,000  |

As diferenças observadas entre os valores médios de  $PM_{10}$  nos dois grupos ( $t_0$  e  $t_5$ ) são estatisticamente significativas ( $t(7) = -11,388$ ;  $p < 0,001$ ).

**Nota:** Os testes estatísticos foram realizados com o *software* SPSS Statistics (v.22, IBM SPSS, Chicago, IL).



## Anexo 15

### Testes estatísticos – Bactérias

- **Teste de Normalidade**

| Tests of Normality |   |                                 |    |                   |              |    |      |
|--------------------|---|---------------------------------|----|-------------------|--------------|----|------|
|                    |   | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |                   | Shapiro-Wilk |    |      |
|                    |   | Statistic                       | df | Sig.              | Statistic    | df | Sig. |
| valor              | 0 | ,246                            | 8  | ,169              | ,859         | 8  | ,117 |
|                    | 5 | ,217                            | 8  | ,200 <sup>*</sup> | ,886         | 8  | ,214 |

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

O pressuposto da normalidade das distribuições nos dois grupos ( $t_0$  e  $t_5$ ) foi avaliado com o teste de Shapiro-Wilk ( $SW(8)_{t_0} = 0,859$ ;  $p = 0,117$ ;  $SW(8)_{t_5} = 0,886$ ;  $p = 0,214$ ). A variável dependente apresenta distribuição normal nos dois grupos.

- **Teste de t-Student**

#### Paired Samples Statistics

|           | Mean   | N | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|-----------|--------|---|----------------|-----------------|
| Pair 1 T0 | 287,00 | 8 | 246,324        | 87,089          |
| T1        | 39,13  | 8 | 17,083         | 6,040           |

#### Paired Samples Test

|        |         | Paired Differences |                |                 |   | t       | df    | Sig. (2-tailed) |       |
|--------|---------|--------------------|----------------|-----------------|---|---------|-------|-----------------|-------|
|        |         | Mean               | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference |         |       |                 |       |
|        |         |                    |                |                 | Lower                                     |         |       |                 | Upper |
| Pair 1 | T0 - T1 | 247,875            | 242,249        | 85,648          | 45,350                                    | 450,400 | 2,894 | 7               | ,023  |

As diferenças observadas entre os valores médios do número de bactérias nos dois grupos ( $t_0$  e  $t_5$ ) são estatisticamente significativas ( $t(7) = 2,894$ ;  $p = 0,023$ ).

**Nota:** Os testes estatísticos foram realizados com o *software* SPSS Statistics (v.22, IBM SPSS, Chicago, IL).





## Anexo 16

### Testes estatísticos – Fungos

- **Teste de Normalidade**

**Tests of Normality**

| momento | valor | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |                   | Shapiro-Wilk |    |      |
|---------|-------|---------------------------------|----|-------------------|--------------|----|------|
|         |       | Statistic                       | df | Sig.              | Statistic    | df | Sig. |
|         | 0     | ,172                            | 8  | ,200 <sup>*</sup> | ,957         | 8  | ,783 |
|         | 5     | ,203                            | 8  | ,200 <sup>*</sup> | ,908         | 8  | ,341 |

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

O pressuposto da normalidade das distribuições nos dois grupos ( $t_0$  e  $t_5$ ) foi avaliado com o teste de Shapiro-Wilk ( $SW(8)_{t_0} = 0,957$ ;  $p = 0,783$ ;  $SW(8)_{t_5} = 0,908$ ;  $p = 0,341$ ). A variável dependente apresenta distribuição normal nos dois grupos.

- **Teste de t-Student**

**Paired Samples Statistics**

|           | Mean  | N | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|-----------|-------|---|----------------|-----------------|
| Pair 1 T0 | 66,50 | 8 | 48,045         | 16,986          |
| T1        | 25,88 | 8 | 7,259          | 2,567           |

**Paired Samples Test**

|        |         | Paired Differences |                |                 |   | t      | df    | Sig. (2-tailed) |       |
|--------|---------|--------------------|----------------|-----------------|---|--------|-------|-----------------|-------|
|        |         | Mean               | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference |        |       |                 |       |
|        |         |                    |                |                 | Lower                                     |        |       |                 | Upper |
| Pair 1 | T0 - T1 | 40,625             | 51,539         | 18,222          | -2,463                                    | 83,713 | 2,229 | 7               | ,061  |

As diferenças observadas entre os valores médios do número de fungos nos dois grupos ( $t_0$  e  $t_5$ ) não são estatisticamente significativas ( $t(7) = 2,229$ ;  $p = 0,061$ ).

**Nota 1:** Se considerarmos um teste unilateral em que a hipótese em estudo seja  $H_0: \mu_{t_0} \leq \mu_{t_5}$  vs  $H_1: \mu_{t_0} > \mu_{t_5}$  teremos  $p = 0,0305$ , concluindo assim que o número médio de fungos no momento  $t_0$  é superior ao registado no momento  $t_5$ .

**Nota 2:** Os testes estatísticos foram realizados com o *software* SPSS Statistics (v.22, IBM SPSS, Chicago, IL).